



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES EN EL CAMPO YURALPA  
PETROAMAZONAS-EP BLOQUE 21 MEDIANTE LA  
APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO EN  
PROGRAMACIÓN LINEAL**

**TRABAJO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO DE  
PETRÓLEOS**

**JULIO PAOLO IBARRA DÁVILA**

**DIRECTOR: ING. RAÚL BALDEÓN**

**Quito, Junio, 2012**

© Universidad Tecnológica Equinoccial, 2012  
Reservados todos los derechos de reproducción

# DECLARACIÓN

Yo, **JULIO PAOLO IBARRA DÁVILA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

**Julio P. Ibarra D.**

**CI: 170832509-5**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo que lleva por título: **“OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES EN EL CAMPO YURALPA PETROAMAZONAS-EP BLOQUE 21 MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO EN PROGRAMACIÓN LINEAL”** , que, para aspirar al título de Ingeniero de Petróleos fue desarrollado por **Julio P. Ibarra D.**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

**Ing. Raúl Baldeón**  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
**C.I. 170804253-4**



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento sobre todo a Dios, luego a mi querida esposa Luccy y a mis hijos Jhaella, Erick, Doménica y Jhócelyn por su infinita paciencia, apoyo y cariño que me supieron brindar para la consecución de una de mis metas.

También expreso mi agradecimiento a ese ser humano que ahora no está con nosotros pero que con su gran ejemplo de lucha y tesón por la vida supo inculcar los mayores valores éticos y morales en todos sus hijos con su ejemplo de trabajo y sacrificio al buscar el bienestar intelectual y físico de todos los seres que amó interminablemente, a mi padre Julio Miguel Ibarra Guzmán, para él mi eterna gratitud, cariño, respeto y admiración.

A mi madre: Marcela Dávila y a mis hermanos: Marcela, Lourdes, Eulalia, Alexia, Sheyla y Robert por brindarme su apoyo y empuje.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por haberme brindado las herramientas necesarias para abrirme el camino en el ámbito laboral y haberme dado el soporte para mi superación intelectual, personal y económica.

Y un agradecimiento muy especial, al personal docente de la Universidad Tecnológica Equinoccial, en especial al Ing. Raúl Baldeón director del trabajo de investigación realizado y al Ing. Manuel Solis Moscoso Gerente de Campo del Bloque 7-21 Petroamazonas EP gestor y tutor en campo del tema y a quienes colaboraron de manera desinteresada en la realización de esta tesis.

Paolo Ibarra D.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi Dios eterno Guía y Señor, a mi esposa Luccy, a mis hijos: Jhaella, Erick, Doménica y Jhócelyn, a mi madre: Marcela, a mis hermanos: Marcela, Lourdes, Eulalía, Alexia, Sheyla y Robert a mi familia política y muy especialmente a mi padre: Julio que hoy se encuentra ausente.

A las personas que me guiaron y ayudaron en la consecución de esta tesis: Ing. Raúl Baldeón y al Ing. Manuel Solís Moscoso por su valioso aporte y guía.

Especial mención al personal docente y autoridades de la Universidad Tecnológica Equinoccial por su valioso aporte.

Paolo Ibarra D.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xx
<b>1. CAPITULO 1</b>	
<b>1.0. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. IDEA A DEFENDER	4
1.5. MARCO DE REFERENCIA	4
1.6. METODOLOGÍA	5
1.6.1. MÉTODO DEDUCTIVO	5
1.6.2. MÉTODO INDUCTIVO	5
1.7. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	5
1.7.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
1.7.2. TRABAJO DE CAMPO	6
1.7.3. CONSULTAS A EXPERTOS	6
1.7.4. INTERNET	6
<b>2. CAPÍTULO 2</b>	
<b>2.0 MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES EN EL BLOQUE 21	7
2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	7
2.3. ESTRATIGRAFÍA DEL BLOQUE 21	9

	<b>PÁGINA</b>
2.4. ANÁLISIS P.V.T. DEL CRUDO	11
2.5. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CRUDO UTILIZADO EN EL BLOQUE 21	12
2.5.1. PERFORACIÓN DIRECCIONAL	12
2.5.1.1. Causas para el uso de la perforación Direccional	13
2.5.1.1.1 Mecanismos de producción	13
2.5.2. PERFORACIÓN HORIZONTAL	14
2.5.2.1. PATRONES DE DESARROLLO	14
2.5.2.1.1. Patrón de desarrollo “LAZY X”	14
2.5.2.1.2. Patrón de desarrollo “Mercedes / Mercedes - Snowflake”	15
2.6. PERFILES ELÉCTRICOS	17
2.7. PERFILÁJE SIMULTÁNEO (LWD)	18
2.8. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL UTILIZADO EN EL BLOQUE 21.	19
2.8.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN SISTEMA BES	19
2.8.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE UNA BES	21
2.8.2.1. Recopilación de la información del pozo	22
2.8.2.2. Datos del reservorio	22
2.8.2.3. Consideraciones adicionales	23
2.9. CÁLCULO DEL ESTIMADO DE VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS DE FONDO DE POZO MTBF	23
2.10. WELL PADS	27
2.10.1. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN	27
2.11. PROCESO DE TRATAMIENTO DEL FLUIDO DE PRODUCCIÓN EN EL BLOQUE B-21	28

	<b>PÁGINA</b>
2.11.1. SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE	
PETRÓLEO	30
2.11.1.1. Bota de Gas	30
2.11.1.2. Tanque de lavado	31
2.11.1.3. Bombas de transferencia de crudo	32
2.11.1.4. Intercambiadores de calor cruzado	33
2.11.1.5. Calentadores de Petróleo	34
2.11.1.6. Tratadores electrostáticos	35
2.11.1.7. Tanques de almacenamiento	
de petróleo	36
2.11.1.8. Bombas booster de petróleo	36
2.11.1.9. Unidad LACT	37
2.11.1.10. Bombas de exportación de petróleo	38
2.11.1.11. Lanzador de limpiador de tubería	39
2.11.2. TANQUE DE RECICLADO	40
2.11.2.1. Bombas de petróleo reciclado	41
2.11.2.2. Calentador de reciclado	42
2.11.2.3. Calentador de petróleo combustible	43
2.11.3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	
DE FORMACIÓN	44
2.11.3.1. Bombas booster de recuperación de agua	44
2.11.3.2. Tanque de desnatado	45
2.11.3.3. Tanque de almacenamiento de agua	46
2.11.3.4. Bombas booster de agua	47

	<b>PÁGINA</b>
2.11.3.5. Bombas de reinyección de agua	48
<b>2.11.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	
DE GAS	49
2.11.4.1. Separador de gas de utilidades	49
2.11.4.2. Separador de gas de alta presión	50
2.11.4.3. Separador de gas de baja presión	51
2.11.4.4. Bombas de Separador de baja presión	52
2.11.4.5. Mechero o Tea	52
<b>2.11.5. SISTEMA DE TRANSFERENCIA</b>	
DE CALOR	53
2.11.5.1. Tanques de almacenamiento de Aceite Térmico	53
2.11.5.2. Tanque recolector de aceite térmico caliente	53
2.11.5.3. Bombas de transferencia de aceite térmico	54
2.11.5.4. Recuperadores de calor por intercambio térmico con gases de escape	55
2.11.5.5. Calentadores eléctricos	55
2.11.5.6. Calentadores de interface del tanque de lavado	56
<b>2.11.6. SISTEMA UTILITARIOS</b>	56
2.11.6.1. Sumidero de drenajes cerrados	56
2.11.6.2. Separador API	58
2.11.6.3. Compresores de aire y S.C.I.	59

	<b>PÁGINA</b>
2.11.6.4. Sistema de almacenamiento de químicos	60
2.12. TRATAMIENTO QUÍMICO	61
2.12.1. USO DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN	62
2.12.1.1. Métodos de control de corrosión	63
2.12.2. USO Y DOSIFICACIÓN DE INHIBIDORES DE INCRUSTACIONES	64
2.12.2.1. Formación de Escala	65
2.12.2.2. Problemas de Escala	66
2.12.3. USO Y DOSIFICACIÓN DE DEMULSIFICANTE	67
2.13. SISTEMA DE GENERACIÓN CENTRALIZADO	67
2.14. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SU USO EN LA TOMA DE DECISIONES	69
2.15. REPRESENTACIÓN POR MEDIO DE MODELOS	70
2.15.1. TIPOS DE MODELOS	70
2.15.2. IMPORTANCIA DE LOS DATOS EN LA REPRESENTACIÓN POR MODELOS	70
2.15.3. FASES DE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	71
2.15.3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	71
2.15.3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO	71
2.15.3.3. SOLUCIÓN DEL MODELO	71
2.15.3.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	72
2.16. PROGRAMACIÓN LINEAL	72
2.16.1. FORMA ESTÁNDAR DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL	75

2.17. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE “TORA”	76
---------------------------------------	----

### 3. CAPÍTULO 3

#### 3.0. METODOLOGÍA

3.1. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	77
3.1.1. DIAGRAMA GENERAL DE OPERACIONES	79
3.1.2. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD A	80
3.1.2.1. Fuente de energía del pad A	80
3.1.3. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD B	81
3.1.3.1. Fuente de energía del pad B	82
3.1.4. DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO CHONTA	83
3.1.4.1. Fuente de energía de Chonta	84
3.1.5. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD D	84
3.1.5.1. Fuente de energía del pad D	85
3.1.6. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD E	86
3.1.6.1. Fuente de energía del pad E	86
3.1.7. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD F	87
3.1.7.1. Fuente de energía del pad F	88
3.1.8. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD G	89
3.1.8.1. Fuente de energía del pad G.	89
3.2. FUENTE DE ENERGÍA DE YURALPA C.P.F.	90
3.3. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	90
3.3.1. FUNCIÓN OBJETIVO	91
3.3.1.1. Restricciones	92



	<b>PÁGINA</b>
3.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN OBJETIVO	95
3.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS PRECIOS DE VENTA (PV) DEL PETRÓLEO DE CADA POZO	97
3.3.4. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE EXTRACCIÓN ( $C_e$ ) DE CADA POZO	99
3.3.5. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR EQUIPO INSTALADO ( $C_{eq}$ )	99
3.3.6. DETERMINACIÓN DEL MTBF DE LOS EQUIPOS DE FONDO	100
3.3.6.1. Costo en pozos con equipo B.E.S.	105
3.3.7. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR QUÍMICOS INYECTADOS ( $C_{qui}$ )	106
3.4. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR ENERGÍA CONSUMIDA ( $C_{gen}$ )	108
3.4.1. CONSUMO DE ENERGÍA PARA EXTRACCIÓN EN POZOS DEL CAMPO YURALPA.	108
3.4.2. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD A	109
3.4.3. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD B	110
3.4.4. COSTO DE ENERGÍA POZO CHONTA	110
3.4.5. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD D	111
3.4.6. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD E	111
3.4.7. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD F	112
3.4.8. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD G	112
3.5. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE TRANSPORTE PETRÓLEO DEL BLOQUE 21	113
3.6. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN YURALPA	114

	<b>PÁGINA</b>
3.6.1. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD A	115
3.6.2. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD B	116
3.6.3. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN CHONTA	117
3.6.4. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD D	117
3.6.5. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD E	118
3.6.6. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD F	119
3.6.7. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DE AGUA PRODUCIDA EN PAD G	120
3.7. DETERMINACIÓN DE LA GANANCIA NETA POR BARRIL DE CRUDO PRODUCIDO EN CADA POZO (C)	122
3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS AL TOMAR UNA DECISIÓN ALEATORIA	127

#### **4. CAPITULO 4.**

##### **4.0. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	131
4.2. ALIMENTACIÓN DE DATOS DEL MODELO AL SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN "TORA"	137

	<b>PÁGINA</b>
4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	155
4.3.1. SUMARIO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA	155
4.3.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	155
4.4. OTRAS CORRIDAS	167
4.4.1. CORRIDA 1	168
4.4.2. CORRIDA 2	174
<b>5. CAPITULO 5.</b>	
<b>5.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1.1. CONCLUSIONES	179
5.1.2. RECOMENDACIONES	180
<b>NOMENCLATURA O GLOSARIO</b>	182
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	185
<b>ANEXOS</b>	187

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica del Bloque 21	8
<b>Figura 2.</b> Columna Estratigráfica General Característica de Yuralpa	11
<b>Figura 3.</b> Diagrama Representativo de Pozos Direccionales	13
<b>Figura 4.</b> Diagrama Representativo de una Perforación Horizontal	15
<b>Figura 5.</b> Gráfico Explicativo del Avance de la Perforación Horizontal	16
<b>Figura 6.</b> Sonda de Medición de Registros Eléctricos para Pozos	17
<b>Figura 7.</b> Ejemplo de Registro Eléctrico Realizado en Pozo	18
<b>Figura 8.</b> Dibujo Representativo de Perforación con LWD	19
<b>Figura 9.</b> Dibujo de Completación de Pozo con BES	20
<b>Figura 10.</b> Fotografía de Manifold de Producción en Pad del Bloque 21	28
<b>Figura 11.</b> Fotografía de Bota de Gas V-102	30
<b>Figura 12.</b> Fotografía de Tanque de Lavado T- 400	31
<b>Figura 13.</b> Fotografía de Bombas Transfer P-330/340/350	32
<b>Figura 14.</b> Fotografía de Cross Exchanger E- 280 / 290	33
<b>Figura 15.</b> Fotografía de Intercambiadores de Calor. (E-230/240)	34
<b>Figura 16.</b> Fotografía de los Deshidratadores Electrostático V-200/210	35
<b>Figura 17.</b> Fotografía de Tanque de Almacenamiento de Petróleo T-410	36
<b>Figura 18.</b> Fotografía de Bombas Booster de Petróleo P-500/510/520	37
<b>Figura 19.</b> Fotografía de Unidad LACT Yuralpa (SK- 600 A/B)	38
<b>Figura 20.</b> Fotografía de Bombas Shipping exportación de petróleo (P- 540/550)	39
<b>Figura 21.</b> Fotografía de Lanzador de “Raspadores” de Oleoducto Yuralpa -Puerto Napo	40
<b>Figura 22.</b> Fotografía de Tanque de Reciclado (T-420)	41
<b>Figura 23.</b> Fotografía de Bombas de Reciclaje (P-360/370)	42

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 24.</b> Fotografía de Intercambiador de Calor (E-250)	43
<b>Figura 25.</b> Fotografía de Intercambiador de Calor (E-255)	44
<b>Figura 26.</b> Fotografía de Bombas Transfer P-300/310/320	45
<b>Figura 27.</b> Fotografía de Tanque de Desnatado (T-440)	46
<b>Figura 28.</b> Fotografía de Tanque de Reinyección de Agua (T-450)	47
<b>Figura 29.</b> Fotografía de Bombas Booster de Reinyección de Agua (P-560/570/580)	48
<b>Figura 30.</b> Fotografía de Bombas de Reinyección de Alta Presión (P-710/720/730)	49
<b>Figura 31.</b> Fotografía de Separador de Gas de Utilidades (V-150)	50
<b>Figura 32.</b> Fotografía de Separador de Gas de Alta Presión (V-120)	51
<b>Figura 33.</b> Fotografía de Sistema de Teas de C.P.F. Yuralpa (Z-650)	52
<b>Figura 34.</b> Fotografía de Sistema de Teas de Alta y Baja Presión de C.P.F. Yuralpa. (Z-650)	53
<b>Figura 35.</b> Fotografía de Tanque de Expansión Térmico (V-130) y Sistema de Bombas de circuito de Aceite Térmico (P-840/850)	54
<b>Figura 36.</b> Fotografía de Sistema de Recuperadores de Calor para Aceite Térmico (H900/910/920/930)	55
<b>Figura 37.</b> Fotografía de Calentadores Eléctricos (J-220 A/B/C/D/E/F/G/H)	56
<b>Figura 38.</b> Fotografía de Closed Drain (V-160)	57
<b>Figura 39.</b> Fotografía de Separador API y Open Drain (T-470)	58
<b>Figura 40.</b> Fotografía de Sistema de Compresores de Aire de Instrumentos y Utilidades (C-810/820)	59
<b>Figura 41.</b> Fotografía de Sistema Contra Incendios (P-880/890)	60
<b>Figura 42.</b> Fotografía de Sistema de Almacenamiento e Inyección de Químicos	61

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 43.</b> Fotografía de Planta de Generación Eléctrica (P.G.P.)	68
<b>Figura 44.</b> Fotografía de Grupo de Generadores Eléctricos (P.G.P.)	68
<b>Figura 45.</b> Diagrama General de Operaciones	79
<b>Figura 46.</b> Gráfico de Barras del Promedio del MTBF de las Bombas B.E.S. Centrilift	104
<b>Figura 47.</b> Pantalla de inicio de “TORA”	137
<b>Figura 48.</b> Pantalla para seleccionar el tipo de problema	138
<b>Figura 49.</b> Pantalla para seleccionar problema nuevo o existente	138
<b>Figura 50.</b> Pantalla para definir el problema	139
<b>Figura 51.</b> Pantalla de inicio para ingreso de datos	140
<b>Figura 52.</b> Pantalla para ingresar nombres de variables	141
<b>Figura 53.</b> Base de datos para ingresar función objetivo y variables obtenidas en el desarrollo de la tesis	142
<b>Figura 54.</b> Pantalla para ingreso de coeficientes e inecuaciones	143
<b>Figura 55.</b> Pantalla para ingreso de coeficientes e inecuaciones	143
<b>Figura 56.</b> Pantalla para ingreso de coeficientes de la función objetivo y restricciones	144
<b>Figura 57.</b> Pantalla de menú para resolver problema (solve/modify)	145
<b>Figura 58.</b> Pantalla de menú para resolver problema (Final Solution)	146
<b>Figura 59.</b> Pantalla de Menú “Go to Output Screen”	147
<b>Figura 60.</b> Pantalla 1 desplegada con resolución de problema planteado en programación lineal	148
<b>Figura 61.</b> Pantalla 2 con resumen de resultados de problema planteado en programación lineal	148
<b>Figura 62.</b> Pantalla 3 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal “TORA”	149
<b>Figura 63.</b> Pantalla 4 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal. “TORA”	149

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 64.</b> Pantalla 5 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal “TORA”	150
<b>Figura 65.</b> Pantalla 6 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal “TORA”	150
<b>Figura 66.</b> Pantalla 1 con resultados obtenidos con el incremento del volumen de agua de Inyección a 23818 BAPD en el programa “TORA”	159
<b>Figura 67.</b> Pantalla 2 con resultados obtenidos con el incremento de volumen de inyección de 23818 BAPD en el programa “TORA”	159
<b>Figura 68.</b> Pantalla 3 que muestra resultados obtenidos al incrementar el volumen de inyección a 23818 BAPD en el programa “TORA”	160
<b>Figura 69.</b> Pantalla 4 con resultados obtenidos al incrementar el volumen de inyección a 23818 BAPD en programa de optimización lineal “TORA”	160
<b>Figura 70.</b> Pantalla 5 con resultados obtenidos en corrida de programa de optimización lineal al incrementar el volumen de inyección a 23818 Barriles	161
<b>Figura 71.</b> Pantalla 6 con resultados obtenidos en corrida de programa de optimización lineal al incrementar volumen de inyección a 23818 barriles en programa “TORA”	161
<b>Figura 72.</b> Pantalla 7 con resultados obtenidos al realizar incremento de inyección y la respectiva corrida al realizar el análisis en programación lineal en programa “TORA”	162
<b>Figura 73.</b> Pantalla con resumen de datos obtenidos al realizar nueva corrida de optimización lineal para el pozo Chonta.	167
<b>Figura 74.</b> Pantalla con datos de optimización lineal para la corrida 1	173

**Figura 75.** Pantalla con datos de optimización lineal al realizar la  
corrida 2

174



## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Coordenadas geográficas del campo Yuralpa	8
<b>Tabla 2.</b> Pozos Productores del Pad A Bloque 21	80
<b>Tabla 3.</b> Datos Eléctricos de Pozos Productores del Pad A Bloque 21	81
<b>Tabla 4.</b> Pozos Productores del Pad B Bloque 21	82
<b>Tabla 5.</b> Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad B Bloque 21	83
<b>Tabla 6.</b> Pozo Productor Chonta Bloque 21	83
<b>Tabla 7.</b> Parámetros Eléctricos Pozo Chonta Bloque 21	84
<b>Tabla 8.</b> Pozos Productores Del Pad D Bloque 21	85
<b>Tabla 9.</b> Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad D Bloque 21	85
<b>Tabla 10.</b> Pozos Productores Del Pad E Bloque 21	86
<b>Tabla 11.</b> Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad E Bloque 21.	87
<b>Tabla 12.</b> Pozos Productores Del Pad F Bloque 21	87
<b>Tabla 13.</b> Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad F Bloque 21	88
<b>Tabla 14.</b> Pozos Productores Del Pad G Bloque 21	89
<b>Tabla 15.</b> Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad F Bloque 21	90
<b>Tabla 16.</b> Precio de Venta del Crudo de los Pozos del Campo Yuralpa Bloque 21	98
<b>Tabla 17.</b> Data MTBF Bombas Electro sumergibles	102
<b>Tabla 18.</b> Cálculo de MTBF de Bombas Electro Sumergibles	103

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 19.</b> Costo por Barril Levantado por Depreciación de Equipos BES	106
<b>Tabla 20.</b> Determinación del Costo Químico	107
<b>Tabla 21.</b> Consumo promedio Diario de Petróleo para Generación en el Bloque 21	108
<b>Tabla 22.</b> Costo Energético de Extracción PAD A	108
<b>Tabla 23.</b> Costo Energético de Extracción Pad B	110
<b>Tabla 24.</b> Costo Energético de Extracción Pozo Chonta	110
<b>Tabla 25.</b> Costo Energético de Extracción Pad D	111
<b>Tabla 26.</b> Costo Energético de Extracción Pad E	111
<b>Tabla 27.</b> Costo Energético de Extracción Pad F	112
<b>Tabla 28.</b> Costo Energético de Extracción Pad G	112
<b>Tabla 29.</b> Calculo del Factor por Kilovatio - hora/Barril	113
<b>Tabla 30.</b> Costo Energético del Transporte de Petróleo de Yuralpa CPF	113
<b>Tabla 31.</b> Consumo promedio de petróleo combustible en CPF	114
<b>Tabla 32.</b> Costo Energético Inyección Agua Pozos Pad A	115
<b>Tabla 33.</b> Costo Total Energético de Inyección de Agua Pozos Pad B	116
<b>Tabla 34.</b> Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozo Chonta	117
<b>Tabla 35.</b> Total Costo Energético De Inyección de Agua Pozos Pad D	118
<b>Tabla 36.</b> Costo Total Energético de Inyección de Agua Pozos Pad E	119
<b>Tabla 37.</b> Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozos Pad F	120

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 38.</b> Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozos Pad G	121
<b>Tabla 39.</b> Cálculo del Costo Energético Total por Barril Producido por Pozo del Campo Yuralpa	122
<b>Tabla 40.</b> Ganancia Neta Por Barril-Coeficientes C Para La Función Objetivo	124
<b>Tabla 41.</b> Inecuaciones y Coeficientes De La Función Objetivo	126
<b>Tabla 42.</b> Producción de Pozos del Campo Yuralpa Bloque 21	128
<b>Tabla 43.</b> Producción de campo restringida para análisis comparativo	129
<b>Tabla 44.</b> Tabla Inicial para Solución Manual Método Simplex Primal	133
<b>Tabla 45.</b> Sumario de la solución óptima	151
<b>Tabla 45.</b> Análisis de Sensibilidad	163
<b>Tabla 45.</b> Resultados de la corrida 1	169
<b>Tabla 45.</b> Resultados de la corrida 2	175

# ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
<b>Anexo 1.</b> Impresión original del “Sumario de la Solución Óptima con datos ingresados y resultados obtenidos al realizar la corrida en programa de optimización lineal “TORA”	187
<b>Anexo 2.</b> Impresión original del “Análisis de Sensibilidad” con datos ingresados y resultados obtenidos al realizar segunda corrida en programa de optimización lineal “TORA”	196
<b>Anexo 3.</b> Impresión de resultados original del programa “TORA” al realizar la corrida 1	205
<b>Anexo 4.</b> Impresión de resultados original del programa “TORA” al realizar la corrida 2	208

## RESUMEN

La optimización de las decisiones que se toman a menudo en la industria petrolera afecta directamente a los ingresos económicos que tienen las empresas. A menudo las paradas no programadas de los pozos productores de petróleo por causas imprevistas obligan a apagar los pozos en desmedro de la producción del campo.

El objeto del presente trabajo es encontrar la solución óptima para minimizar las pérdidas por paradas no programadas de pozos ejecutando un modelo de programación lineal. La alternativa que se ha tomado es la construcción de un modelo matemático que será resuelto por medio de programación lineal debido a que existen muchas variables que se deben evaluar para parar o disminuir la producción en un pozo.

Se realiza una descripción del campo Yuralpa Bloque 21, ubicación geográfica, tipo de reservorio, el tipo de perforación utilizada el tipo de levantamiento artificial que se ha implementado para la extracción de petróleo desde el yacimiento y las facilidades de producción con que cuenta.

Como consecuencia del trabajo se establece claramente el objetivo, luego la recopilación y obtención de datos confiables, se procede a la creación del modelo matemático, la resolución del modelo por medio de un software de Programación Lineal y por último se realiza la interpretación de resultados.

## **ABSTRACT**

Optimization decisions are often taken in the oil industry directly affect the income that companies have. Often unscheduled stops producing oil wells by unforeseen circumstances require wells to stop production at the expense of the field.

The purpose of this work is to find the optimal solution to minimize losses for unscheduled stoppages of wells running a linear programming model. The alternative that is taken is the construction of a mathematical model that will be solved by linear programming because there are many variables to be evaluated to stop or reduce production in a well.

We present a description of the field Yuralpa Block 21, ubicacion geographic, type of reservoir, the type of drilling used type of artificial lift is to be implemented for the extraction of oil from the reservoir and production facilities available to it.

As achievement of the work is clearly the goal, then the collection and reliable data, we proceed to the creation of the mathematical model, the model resolution using a linear programming software and finally performs the interpretation of results.

# **CAPÍTULO 1.**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El Ecuador actualmente y desde el boom petrolero financia la gran mayoría de sus gastos con la venta de petróleo en gran parte y por exportaciones tradicionales y no tradicionales.

Analizando desde la época democrática del Ecuador, éste solo ha obtenido tres superávits, y en gran parte se debió a que el precio del petróleo en el mercado internacional era mayor a lo pronosticado para el financiamiento del Presupuesto General del Estado en esos años. Fue precisamente en el año de 1979, 1993 y 1997 los que registraron superávit gracias a que se fijó en el presupuesto un precio de barril de petróleo inferior al que el mercado registró.

La dependencia de este rubro por parte del Ecuador y más aún con dolarización, nos hace pensar que si no se controla los gastos gubernamentales, seguiremos sin poder crecer económicamente, y sin elevar la calidad de vida.

Por lo que es de vital importancia que las decisiones que se tomen dentro del ámbito petrolero sean las más óptimas en función del beneficio económico del país, entonces de alguna manera se busca minimizar las pérdidas de petróleo o lo que es lo mismo maximizar las ganancias por la producción neta de petróleo en el campo Yuralpa Bloque 21 utilizando como herramienta un modelo de programación lineal para optimizar la toma de decisiones.

Enfocándonos en el proceso de extracción de crudo, mencionaremos el principal método de levantamiento artificial utilizado en el campo Yuralpa: Bombeo Eléctrico Sumergible

La optimización en la toma de decisiones han sido validadas mediante la utilización de software de Programación Lineal, las aplicaciones de los mismos han sido de gran importancia en países desarrollados como una manera de optimizar los costos operativos.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La operación diaria de pozos en las diferentes compañías en la zona oriental, está sujeta a diversas situaciones tales como: restricciones en los cupos de bombeo en los oleoductos, problemas operativos en las plantas separadoras de agua y gas, paradas no programadas de pozos productores, minimizar perdidas por paradas de pozos productores, etc.

Estas situaciones requieren la toma de decisiones inmediatas sobre la operación de los pozos: arranque, apagado o disminución de producción.

La pérdida de producción de petróleo por factores externos como paradas obligadas no programadas deben ser minimizadas al máximo tomando la mejor decisión dentro de un programa de paradas de pozos sin que esto implique que necesariamente se apaguen o se bajen la producción a los pozos de mayor aporte de agua.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La decisión óptima de cuales pozos prender, apagar, o cuanto de producción disminuir en cada pozo, viene acompañada de analizar minuciosamente algunos factores como:

1. Calidad de crudo en función del grado API para cada pozo.
2. Contenido de agua y salinidad del agua de cada pozo.
3. Costos de operación para cada pozo: químicos, eléctricos, etc.



Entre los más importantes a tomar en cuenta.

Podemos decir que en caso de presentarse la necesidad de apagar o disminuir producción de pozos en un instante determinado, el encargado de tomar la decisión, debido a la gran responsabilidad que implica generalmente no tiene la oportunidad de analizar todas las posibilidades que existen para determinar las mejores opciones que “maximicen la ganancia” para la compañía por lo que este trabajo representa una gran herramienta para el proceso.

Se utilizará la Modelación Matemática y un Software de Programación Lineal Adicionalmente como complemento se utilizarán los paquetes MTBF y EXCEL.

El programa corrido en Programación lineal nos da resultados claros de las decisiones óptimas que deben tomarse en un momento dado, y proporciona también el **costo minimizado** resultante de dichas decisiones. Adicionalmente presenta alternativas de solución que pueden ser analizadas por el responsable de la toma de decisiones.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 General**

Optimizar la toma de decisiones al realizar paradas de pozos por problemas emergentes en el proceso de transporte y almacenamiento de crudo para minimizar las pérdidas económicas que se producen en desmedro de las ganancias de la empresa.

#### **1.3.2 Específicos**

- Aplicar un modelo matemático existente a la operación del Bloque 21 para minimizar pérdidas de producción.
- Tomar la mejor decisión óptima en el menor tiempo posible para minimizar perdidas.

- Conocer como un análisis de sensibilidad puede generar la mejor alternativa a tomar en el área de operación del Bloque 21 YURALPA.

#### **1.4 IDEA A DEFENDER**

Podemos decir que en caso de presentarse la necesidad de apagar o disminuir producción de pozos en un instante determinado, el encargado de tomar la decisión, tendrá la oportunidad de analizar todas las posibilidades que existen para determinar las mejores opciones que “ minimicen la perdida” o “maximicen la ganancia” para la empresa por lo que este trabajo representa una gran herramienta para el proceso.

#### **1.5 MARCO DE REFERENCIA**

Las personas que manejan y controlan sistemas de hombres y equipos se enfrentan al problema constante de mejorar (por ejemplo, optimizar) el rendimiento del sistema. El problema puede ser reducir el costo de operación y a la vez mantener un nivel aceptable de servicio, utilidades de las operaciones actuales, proporcionar un mayor nivel de servicio sin aumentar los costos, mantener un funcionamiento rentable cumpliendo a la vez con las reglamentaciones gubernamentales establecidas, o "mejorar" un aspecto de la calidad del producto sin reducir la calidad de otros aspectos.

Para identificar la mejora del funcionamiento del sistema, se debe construir una representación sintética o modelo matemático del sistema físico, que puede utilizarse para describir el efecto de una variedad de soluciones propuestas.

La optimización, también denominada programación matemática, sirve para encontrar la respuesta que proporciona el mejor resultado, la que logra mayores ganancias, mayor producción o felicidad o la que logra el menor costo, desperdicio o malestar. Con frecuencia, estos problemas implican utilizar de la manera más eficiente los recursos, tales como dinero, tiempo, maquinaria, personal, existencias, etc. Los problemas de optimización generalmente se clasifican en lineales y no lineales, según las relaciones del

problema sean lineales con respecto a las variables. Actualmente existen una serie de paquetes de software para resolver problemas de optimización, por ejemplo: TORA, LINDO o Win QSB resuelven modelos de programas lineales y LINGO y What'sBest! resuelven problemas lineales y no lineales.

Según el profesor Hossein Arsham: “Un modelo de Optimización Matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o inecuaciones. Los modelos de optimización son usados en casi todas las áreas de toma de decisiones, como en ingeniería de diseño y selección de carteras financieras de inversión”.

## **1.6. METODOLOGÍA**

### **1.6.1. MÉTODO DEDUCTIVO**

Se toma como partida los conocimientos inherentes a la toma de decisiones para realizar disminución o parada de pozos por causas exógenas que confluyen en la pérdida de dinero innecesaria por la toma no acertada de la decisión correcta al apagar pozos de mayor o menor aporte en el campo.

### **1.6.2. MÉTODO INDUCTIVO**

Se seleccionan todos los parámetros necesarios, tendientes a explicar y a desarrollar el modelo de programación lineal a utilizarse para la Optimización de la toma de decisiones para evitar pérdidas innecesarias a la empresa.

## **1.7. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

Las técnicas a utilizar son las siguientes:

### **1.7.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

Revisión de literatura y programas a ejecutarse en programación lineal.

### **1.7.2. TRABAJO DE CAMPO**

Se desarrolla la investigación y el estudio directamente en las instalaciones del campo Yuralpa-Bloque 21.

### **1.7.3. CONSULTAS A EXPERTOS**

Se realiza la consulta directamente a los Gerentes de Campo especialistas en el manejo del tema.

### **1.7.4. INTERNET**

El uso de internet es necesario por ser una herramienta de trabajo que actualmente permite acceder a la información precisa con un amplio espectro y visión dentro de la investigación a realizarse.

## **CAPITULO 2.**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES EN EL BLOQUE 21 PETROAMAZONAS EP**

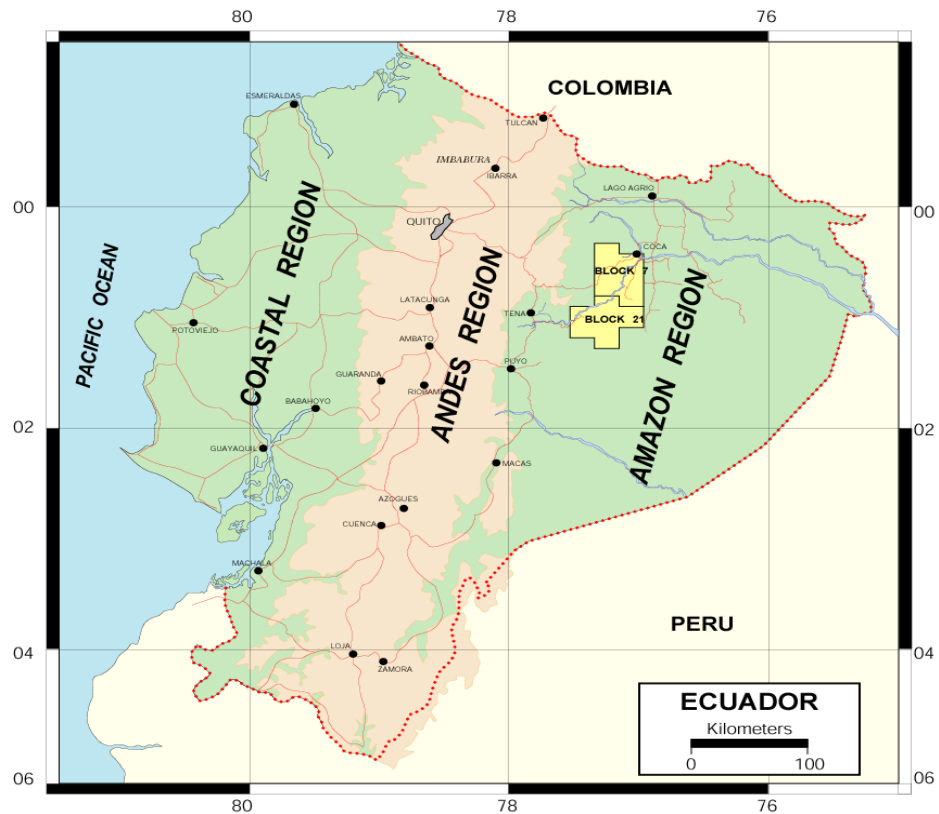
#### **2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El Bloque 21 está ubicado en el centro-occidente de la Cuenca Oriente (Figura 1). El Bloque cubre 200.000 hectáreas (494.200 acres) y está aproximadamente a 15 kms. de las estribaciones orientales de la Cordillera de los Andes y a 240 kms. de camino hacia el sureste de Quito.

De acuerdo al informe del Plan de Desarrollo Bloque 21 realizado por la Cia. KERRMcGEE ECUADOR ENERGY CORPORATION , s.n.,s.l.,el año 2003:

“ El Campo Yuralpa se encuentra en la mitad occidental del Bloque 21 y yace aproximadamente a 40 kms. al suroeste del campo Jaguar situado en el Bloque 7, el campo petrolero más cercano.

Las elevaciones llegan hasta los 400 metros sobre el nivel del mar en la parte occidental del Bloque y descienden hasta aproximadamente 250 metros hacia el oriente. Varios ríos fluyen con dirección predominantemente sureste, con excepción del Río Napo que fluye hacia el noreste y divide al Bloque. Un denso bosque húmedo tropical cubre el área. La temperatura anual promedio en el área es de 24.3° Celsius (76° Fahrenheit) y la precipitación anual promedio es de 3.704 mm. La estación lluviosa es de abril a junio, mientras que los períodos de agosto-septiembre y diciembre-enero son los más secos del año (Komex, 1999).”



**Figura 1.** Ubicación geográfica del Bloque 21.

KERRMCGEE Ecuador Energy Corporation ,2003,Plan de desarrollo Bloque 21.

La estación central de procesos CPF y el campamento presentan las siguientes coordenadas.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS CAMPO YURALPA					
SITIO	UTM		GEOGRAFHICS		ELEVACION (m)
	NORTH	EAST	LATITUD	LONGITUD	
CPF	9'889.152,4 N	232.359,8 E	00° 58' 52.898" S	77° 24' 18.383" W	386

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas del campo Yuralpa.

### **2.3. ESTRATIGRAFÍA DE BLOQUE 21**

De acuerdo al informe del Plan de Desarrollo del Bloque 21 realizado por la Cia. KERRMcGEE ECUADOR ENERGY CORPORATION , s.n.,s.l., el año 2003 tenemos la siguiente descripción de la estratigrafía del bloque 21:

“Aproximadamente 4000 metros de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico están conservados en el área del Bloque 21. La unidad más baja en la secuencia sedimentaria es la Formación Pumbuiza del Devoniano (Paleozoico), compuesta de una secuencia de lutitas/pizarras gris oscuro a negras y arenisca cuarzosa translúcida finamente estratificada.

La Formación Chapiza del Jurásico Medio consiste de una espesa serie de capas de arcillas rojas continentales, depósitos volcánicos (toba lítica) y areniscas compactas, y llena la mayor parte de las fosas tectónicas en el área (Jaillard et al, 1997). Las formaciones arriba nombradas están cubiertas por la arenisca cuarzosa fluvial del Cretácico Inferior (Aptense-Albense) perteneciente a las Areniscas de la Hollín Principal que, a su vez, están cubiertas por depósitos de arenisca cuarzosa de sedimentación costanera y sedimentos clásticos transgresivos marinos someros de la Arenisca Hollín Superior.

Localmente, en las áreas de Yuralpa y Dayuno y directamente por encima o insertado entre las facies del Hollín Superior, existe un cuerpo de roca intrusiva ígnea de más de 200 pies de espesor. El cuerpo ígneo es una capa intrusiva cuya principal mineralogía es 30% plagioclasas, 30% olivino, 30% clinopiroxeno, y 10% ferro magnesianos, y cuya edad radiométrica es 82 +/- 0.5 My.

El sill fue intruído como consecuencia de una actividad magmática durante el Cretácico, desarrollada a lo largo de una anomalía de tipo “plume intracontinental”, presente en la Cuenca Oriente ecuatoriana.

La formación Napo, de edad Albiano Inferior a Cenomiano, está constituida por una serie de lutitas, calizas y areniscas inter estratificadas que yacen concordantemente sobre la Formación Hollín.

Estos depósitos, predominantemente marino-somero, han sido divididos en varias unidades de interés, como la Arenisca "T", la Caliza "B", la Arenisca "U", la Caliza "A" y la Caliza "M-2", que están presentes en el área del Bloque 21.

Localmente, se han encontrado depósitos volcánicos alterados de poco espesor suprayaciendo a la Caliza "A".

Sedimentos clásticos finos granulados de la Formación Tena del Cretácico Superior (Maestrichtiense) al Paleoceno Inferior yacen sobre la Formación Napo. La Formación Tena es principalmente continental, con algunas incursiones marinas y, de acuerdo con algunos autores, probablemente representa un cambio en el origen de los sedimentos de este-sureste a oeste (p. ej., el levantamiento de los Andes).

La Formación Tiyuyacu del Paleoceno Superior al Eoceno Inferior yace discordantemente sobre la Formación Tena y está caracterizada por un conglomerado de "chert" en su parte inferior. Los clásticos continentales de la Formación Tiyuyacu están cubiertos por la Formación Orteguaza, compuesta principalmente de lutitas verdes marinas y arenas del Oligoceno al Mioceno Inferior que, a su vez, están cubiertas por capas continentales de arcilla roja de la formación Chalcana del Mioceno Inferior a Intermedio. La Formación Arajuno del Mioceno Superior consiste de arenisca fluvial, microconglomerados y arcillolitas. Los depósitos fluviales del Plio-Pleistoceno de la Formación Mesa completan la secuencia estratigráfica y afloran a lo largo de los ríos del área del Bloque 21 (adaptado de Ramírez et al, 1989)."



EDAD	LITOLÓGIA	FORMACIÓN	MIEMBRO	TOPE Wireline MD (pies)
Cuaternario		CUATERNARIO INDIF.		
Mioceno		CHALCANA	Superior	
		CHALCANA	Inferior	
Oligoceno		ORTEGUAZA	Tope	4,425
Eoceno		TIYUYACU	Tope	5,143
Paleoceno		TENA	Tope	6,036
Cretáceo Superior		NAPO	Tope Napo	7,136
			Caliza "M-2"	7,190
			Extrusivo	7,389
			Caliza "A"	7,473
			Arenisca "U" Superior	7,665
			Lutita Napo Media	7,733
			Caliza "B"	7,884
			Arenisca "T" Superior	7,906
			Arenisca "T" Principal	7,977
			Lutita Napo Inferior	8,014
		HOLLÍN	Superior	8,124
			Principal	8,161

**Figura 2.** Columna estratigráfica general característica de Yuralpa.

Ing. Patricio Andrade, 2007, . Estratigrafía Bloque 21.

## 2.4. ANÁLISIS P.V.T. DEL PETRÓLEO

Un resumen de los principales resultados de este estudio PVT de la formación hollín principal registran los siguientes datos: Presión de saturación a temperatura del reservorio: Tel: 198 p.s.i.a. La vaporización diferencial de temperatura del yacimiento arrojó los siguientes resultados en presión de saturación: 37.04 cPoise.

La información relevante del yacimiento fue tomada de los anexos plan de desarrollo bloque 21, realizado por KERRMcGEE ECUADOR ENERGY

CORPORATION s.n., s.l., en el año 2003 y que presentaron los siguientes resultados:

$B_o = 1.064 V_o V_{Std} \text{ vol.}$

Densidad = 56.2476 lb/ft<sup>3</sup> (0,901g/cm<sup>3</sup>)

R=218 std pies<sup>3</sup> / bbl

La viscosidad de los fluidos del reservorio a temperatura del yacimiento y la presión de saturación es de 37.04 cPoise.

“Estas determinaciones se realizaron utilizando medidores capilares de vidrio, de acuerdo con el método ASTM D-445.”

## **2.5. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CRUDO USADO EN EL BLOQUE 21**

### **2.5.1. PERFORACIÓN DIRECCIONAL**

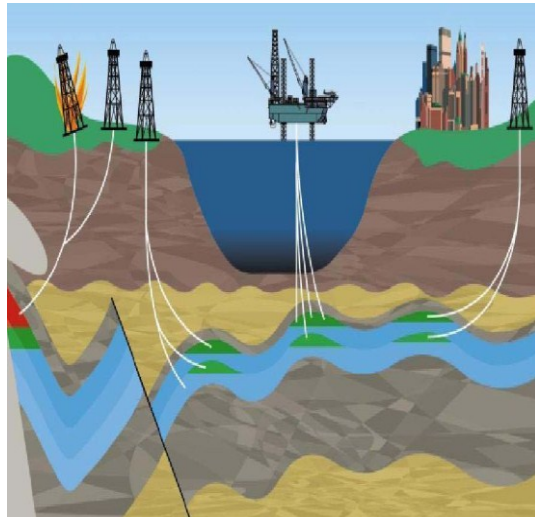
Una revisión de las características del yacimiento de la formación Hollín en el Campo Yuralpa indica que los pozos horizontales son el método óptimo y el más económico para desarrollar esta área.

Además de lo que se menciona acerca de pozos horizontales en esta sección, se podrían perforar pozos verticales entre los pozos productores horizontales o como pozos para inyección de agua. Además, se ha efectuado desvíos en algunos pozos existentes.

Las principales causas por las que se determinó este tipo de levantamiento artificial fueron:

- Complicaciones por la geología local.
- Incremento de la producción de un yacimiento desde un pozo en particular.
- Disminuir costos al evitar construir plataformas para cada pozo.
- Disminuir riesgos ambientales.

- Comercialización y distribución, para el efecto fue necesario construir un oleoducto secundario de aproximadamente 61 Km para la exportación del petróleo desde el campo Yuralpa hacia Puerto Napo en donde se une con el oleoducto principal de AGIP.



**Figura 3.** Diagrama representativo de pozos direccionales.

<http://es.scribd.com/doc/23593341/PERFORACION-DIRECCIONAL>

Adicionalmente, el desarrollo de la tecnología permite realizar actualmente pozos direccionales, horizontales y verticales que nos permite avanzar en la perforación al menor costo posible y con las mejores condiciones de seguridad.

### **2.5.1.1. CAUSAS PARA EL USO DE LA PERFORACIÓN DIRECCIONAL**

#### **2.5.1.1.1 Mecanismos de Producción**

De acuerdo al informe del Plan de Desarrollo del Bloque 21 realizado por la Cia. KERRMcGEE ECUADOR ENERGY CORPORATION , s.n.,s.l., el año 2003 tenemos lo siguiente:

“Basado en el marco geológico y en el comportamiento de campos similares en la Cuenca Oriente, se asume que el yacimiento Hollín Principal en el

Campo Yuralpa tiene un empuje de agua activo. La Formación Hollín tiene un acuífero regional en toda la Cuenca Oriente, el mismo que se recarga en los afloramientos superficiales en las estribaciones de la Cordillera de los Andes. Este marco geológico ha dado lugar a que exista una inclinación hidrodinámica del contacto petróleo-agua en el Campo Yuralpa, y sugiere así mismo que el acuífero será infinito. Por lo tanto, no se requerirá de mantenimiento de presión.

Basado en el marco geológico del Campo Yuralpa y en los resultados de las pruebas de producción de los pozos exploratorios, el empuje de agua de fondo será el mecanismo de empuje principal, esperándose que la conificación de agua sea un serio problema para la producción. La magnitud de la conificación estará controlada principalmente por la existencia de barreras arcillosas, la viscosidad del petróleo y la ubicación de los pozos. Fue necesario efectuar estudios de simulación numérica de yacimientos para evaluar el impacto de esos factores sobre la conificación.

## **2.5.2. PERFORACIÓN HORIZONTAL**

### **2.5.2.1. Patrones de Desarrollo**

Fueron realizados estudios de simulación y se evaluaron múltiples configuraciones de pozos horizontales con el objeto de maximizar las recuperaciones de hidrocarburos, minimizar las facilidades de producción y tamaños de oleoducto, y optimizar la perforación a través de la sección ígnea. En este estudio se usaron dos patrones de pozos, los llamados “Lazy X” y “Mercedes”/”Mercedes-Snowflake”.

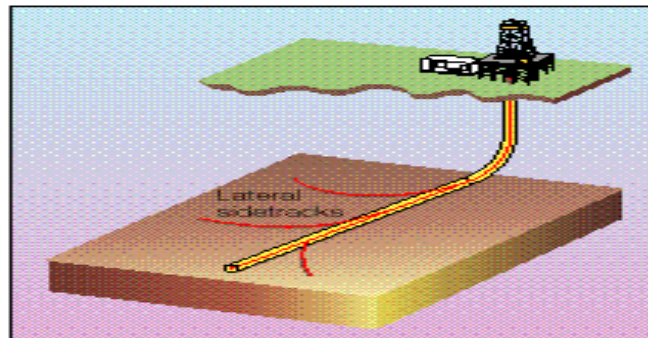
#### **2.5.2.1.1. Patrón de Desarrollo “Lazy X”**

Debido a la geología presente en Yuralpa, se perforara los pozos en dirección este-oeste a través de la sección intrusiva ígnea para minimizar los riesgos de derrumbes dentro del hueco. “El patrón “Lazy X” fue modelado tomando en cuenta esta orientación presenta un diagrama de perforación de

cuatro pozos por plataforma con el patrón “Lazy X”.” A medida que el pozo llega a los 1200 pies desde el centro de la plataforma, se perfora en dirección este-oeste. Allí es donde se encuentra la sección ígnea. Entonces se coloca un pozo horizontal de 1980 pies en el tope de la formación Hollín Principal. El pozo se termina cuando alcanza un radio de extensión de 3000 pies.

El alcance de 3000 pies debido a que éste es el límite al que pueden alcanzar las torres de perforación.

Se asume que todos los pozos estarán 17 pies por debajo del tope de Hollín Principal. Los 17 pies son una selección arbitraria para el objetivo de profundidad lateral óptima.



**Figura 4.** Diagrama representativo de una perforación horizontal.

<http://gustato.com/petroleo/Petroleo2.html>

La idea principal al elegir las trayectorias reales de los pozos es maximizar la distancia del intervalo de completación por encima del contacto petróleo-agua para demorar el inicio de la conificación de agua y maximizar la producción de petróleo.

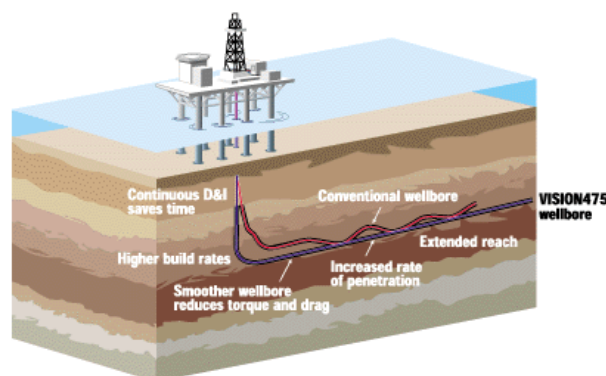
#### **2.5.2.1.2. Patrón de Desarrollo “Mercedes”/”Mercedes-Snowflake”**

Se perforaron los pozos en un diagrama de radios. Primero se desarrolla la plataforma con tres pozos horizontales que penetran en el Hollín Principal 500 pies más allá del centro de la plataforma. Continúan 2500 pies hacia

afuera hasta el radio de extensión de 3000 pies. Esto se llama el patrón “Mercedes”. Hay lugar para tres pozos adicionales perforados en los interespacios entre los pozos iniciales, pero, para minimizar la interferencia del cono, ingresan al yacimiento de Hollín Principal a 1500 pies de distancia del centro de la plataforma. Esos pozos laterales tiene 1500 pies de longitud. Estos tres pozos más cortos pueden ser perforados concurrentemente con los primeros tres pozos. Cuando se perforan concurrentemente con los primeros tres pozos, este caso se llama el patrón “Snowflake”. Alternativamente, los segundos tres pozos pueden ser re-perforaciones después de que los tres primeros pozos produzcan únicamente agua, y entonces éste se llama el patrón “Mercedes-Snowflake”.

El patrón “Snowflake” tiene la ventaja de tener hasta seis pozos por plataforma inicialmente en la vida del proyecto. El caso “Mercedes-Snowflake” tiene la ventaja de más flexibilidad, porque los tres pozos son perforados más tarde después de que se conoce algo de la historia de la producción. Además, hay menos pozos en producción en cualquier momento dado, lo que minimiza los requerimientos de las facilidades de producción.

En el lado negativo de este patrón, los pozos tienen que ser perforados en todas las direcciones a través de la sección ígnea intrusiva, y la interferencia de la conificación de agua en la parte inferior de la sección horizontal del pozo también se convierte en un problema”.



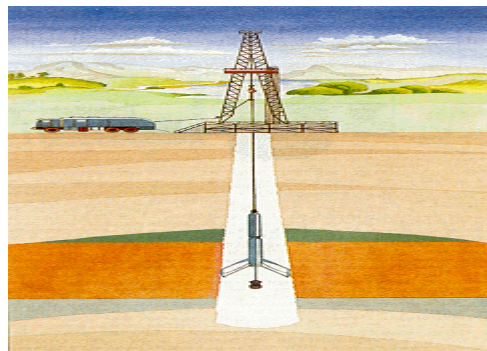
**Figura 5.** Gráfico explicativo del avance de la perforación horizontal [http://weltnx.blogspot.com/2009/02/petroleo para dentro de 30 anos.html](http://weltnx.blogspot.com/2009/02/petroleo+para+dentro+de+30+anos.html)

## 2.6. PERFILES ELÉCTRICOS

De acuerdo al artículo publicado en la red por *Gustato Hernández*, “ cuando se perfora un pozo, y especialmente si es de exploración, se trata de obtener la mayor cantidad posible de información del subsuelo. Esto se logra con la ayuda de los perfiles eléctricos.

Estos perfiles miden las propiedades eléctricas, acústicas y radioactivas de las rocas. Los sensores de la resistividad usan electrodos o bobinas, los acústicos usan transductores sónicos y los radioactivos emplean detectores sensibles a la radioactividad.

Para tal fin se utilizan distintos instrumentos montados en una sonda que se baja al pozo mediante un cable-conductor. Este cable de acero normalmente tiene 7 conductores eléctricos que sirven para alimentar eléctricamente a los equipos de pozo y al mismo tiempo recibir en superficie los datos leídos por las diferentes sondas.

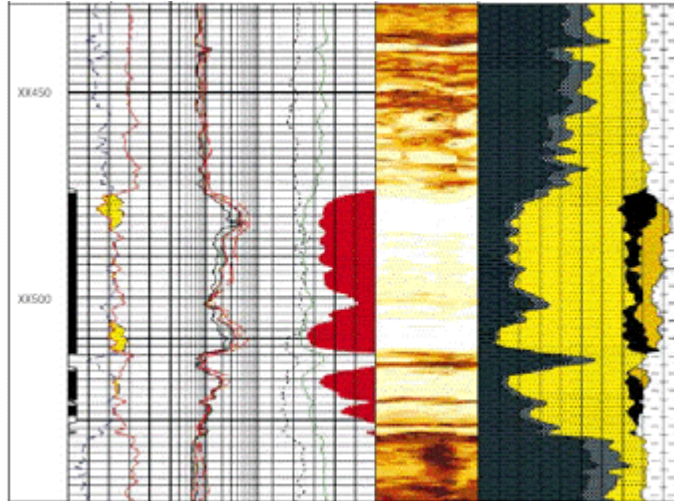


**Figura 6.** Sonda de medición de registros eléctricos para pozos

<http://gustato.com/petroleo/Petroleo2.html>

A medida que se va recogiendo el cable, la sonda va midiendo y las lecturas que son enviadas a superficie a través del cable, se registran en cintas magnéticas, que posteriormente serán utilizadas para la interpretación de los datos. Las unidades de perfilaje son laboratorios portátiles que disponen de computadoras para el registro e interpretación de los perfiles de pozo.

De la interpretación de estos perfiles se obtienen datos de porosidad, contenido de fluidos, y tipos de litologías. Una correcta evaluación se logra mediante la combinación de los datos obtenidos en los distintos perfiles realizados en el pozo.



**Figura 7.** Ejemplo de registro eléctrico corrido en pozo

<http://gustato.com/petroleo/Petroleo2.html>

En el grafico anterior se muestra un perfil de datos interpretados correspondiente a un intervalo de pozo. Las zonas indicadas en rojo contienen hidrocarburos, y serán las zonas que se pondrán en explotación una vez entubado el pozo.

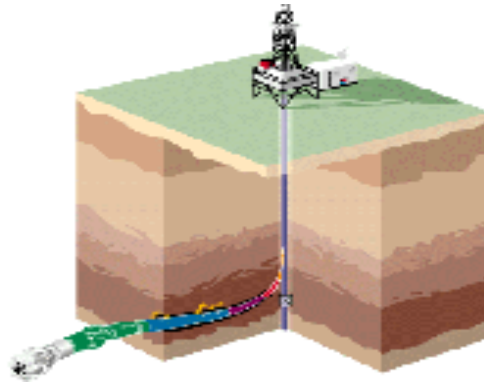
## **2.7. PERFILAJE SIMULTÁNEO (LWD)**

La perforación y el perfilaje simultáneo mejora la habilidad del operador de perforación, para tomar decisiones efectivas en tiempo real en la crítica fase de la perforación.

Las mediciones LWD (Logging While Drilling), revelan la naturaleza de las formaciones de la roca perforada e identifica la ubicación probable de los hidrocarburos. La resistividad de formación en tiempo real, la información sobre la litología y la porosidad adquirida durante la perforación le permite a



los geólogos evaluar y visualizar la formación alrededor del pozo, antes que ocurra un daño a la formación o que se provoque una invasión de lodo.



**Figura 8.** Dibujo representativo de perforación con LWD.

<http://gustato.com/petroleo/Petroleo2.html>

Las mediciones LWD le permiten al geólogo seleccionar los puntos para bajar el casing y, detectar y cuantificar las zonas potenciales cuando estas son interceptadas, e identificar los límites del fluido en tiempo real mientras se perfora. Las nuevas mediciones de imagen y perforación (IWD) hacen posible la detección de la fractura y la determinación del buzamiento. La perforación en tiempo real y los datos del perfilado pueden ser integrados en las work stations con datos sísmicos en 3D.

Esta visión más clara del pozo y su posición dentro del reservorio le brinda al operador una fuente de información que mejora la toma de decisiones a medida que la perforación progresa, reduciendo el riesgo en áreas que son geológicamente complejas o bien no son muy conocidas”.

## **2.8. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL USADO EN EL BLOQUE**

### **21**

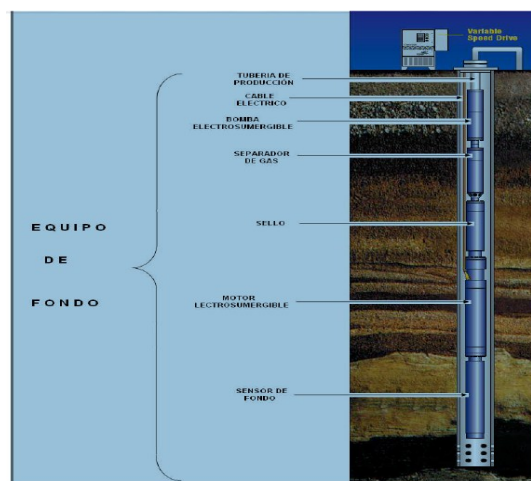
#### **2.8.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN SISTEMA B.E.S.**

El sistema de bombeo electro sumergible (B.E.S) es un sistema de levantamiento artificial que emplea la energía eléctrica convertida en energía mecánica para levantar una columna de fluido desde un nivel determinado

hasta la superficie, descargándolo a una determinada presión. Como en todos los casos cuando se desea diseñar un sistema de levantamiento artificial, es recomendable recordar que:

El bombeo electro sumergible ha probado ser un sistema artificial de producción eficiente y económico en la industria petrolera, comparativamente con otros sistemas artificiales de producción tiene ventajas y desventajas, debido a que por diversas razones no siempre puede resultar el mejor, es decir un pozo candidato a producir artificialmente con bombeo electro sumergible, debe reunir características que no afecten su funcionamiento como las altas relaciones gas/aceite, las altas temperaturas, la presencia de arena en los fluidos producidos, que son factores con influencias indeseables sobre la eficiencia del aparato.

Una unidad típica de bombeo electro sumergible está constituida en el fondo del pozo por los siguientes componentes: motor eléctrico, protector, sección de entrada, bomba electro sumergible y cable conductor. Las partes superficiales son cabezal, cable superficial, tablero de control y transformador.



**Figura 9.** Esquema de completación de pozo con B.E.S.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/970/1/CD-1273.pdf>

## **2.8.2. PASOS A SEGUIR PARA DISEÑAR UNA INSTALACIÓN DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE**

Es necesario tener presente las condiciones que tienden a limitar el empleo de este sistema:

- No es recomendable emplear este sistema en pozos de alta relación GLR.
- No es recomendable emplear este sistema en pozos de bajo P. I. y baja presión.

Es fundamental para el diseño, conocer la presión de burbuja del reservorio que el pozo va drenar, así como la presión actual del reservorio.

La importancia de esto último radica en que no es lo mismo bombear una sola fase (líquido) que dos fases (gas + líquido), debido a que la ecuación del Índice de Productividad cambia según sea el caso, de allí por qué se hace necesario conocer la presión del reservorio y su valor respecto a su presión de burbuja.

Las condiciones mecánicas del pozo pueden ser otro factor limitante por lo que es necesario conocer las características de la completación (diámetro del casing y los intervalos abiertos a producción).

Otro factor a tener en cuenta sin duda es el corte de agua, como la mayoría de los sistemas de levantamiento artificial, éste se ha diseñado para fluidos incompresibles, y como sabemos el petróleo sí es compresible, más aun cuando está acompañado de gas.

Es necesario también considerar el tipo de fluido del reservorio y sus características (la alta viscosidad del fluido es un factor limitante, y en algunos casos, en reservorios no consolidados, los fluidos producidos son acompañados por granos de arena y en otros, se forman incrustaciones al ingresar a la instalación, dañando sus partes).

### **2.8.2.1. Recopilación de la información del pozo.**

Los siguientes parámetros son necesarios para el diseño de un equipo a ser completado con una bomba electro sumergible:

- Diámetro, grado y peso de los forros.
- Intervalos perforados.
- Profundidad estimada de la Bomba.
- Presiones: estática y fluyente al punto medio de perforaciones.

### **2.8.2.2. Datos del reservorio.**

Adicionalmente es necesario conocer los datos del fondo de pozo los cuales nos ayudaran a definir de manera precisa el tipo de bomba a utilizarse; los datos más importantes son:

- Presión de Burbuja
- Datos de Producción
- Régimen estimado
- Porcentaje de agua (%)
- Relación Gas Líquido (G.L.R)
- Nivel Estático
- Nivel Dinámico
- Características del fluido
- Gravedad específica del petróleo
- Gravedad específica del agua
- Viscosidad del Petróleo

### **2.8.2.3. Consideraciones adicionales.**

Finalmente existen condiciones adicionales que son necesarias observarlas para el diseño de una bomba eléctrica sumergible y son:

- Producción de Finos
- Corrosión
- Incrustaciones
- Emulsiones
- Presencia de Sales
- Presencia de H<sub>2</sub>S
- Alta Temperatura

## **2.9. CÁLCULO DEL ESTIMADO DE VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS DE FONDO DE POZO MTBF**

El MTBF es el tiempo esperado de operación de un equipo como consecuencia del nivel de confiabilidad de sus componentes.

El tiempo medio antes de la falla o MTBF es una de las medidas más comúnmente utilizadas para estimar la confiabilidad de un sistema, pero al estimar estadísticamente este parámetro es común encontrar datos de operación de equipos que han sido retirados de servicio antes de presentar falla o que han presentado una falla que es producto de un agente externo que es diferente del componente mismo; éste tipo de información se conoce como información censurada.

Según el trabajo de investigación realizado por el Ingeniero Manuel Solís para la obtención del título de Ingeniero Industrial tenemos la siguiente información y fórmulas referentes al cálculo del MTBF:

“Los datos censurados son valiosos y deben ser incluidos en el análisis del MTBF usando métodos estadísticos como el análisis de supervivencia. Para el desarrollo del presente estudio se escogió el método propuesto por Herd y Johnson, que además de ser adecuado para el manejo de información censurada puede ser implementado fácilmente usando una hoja electrónica como Excel.

Estadísticamente, el MTBF se interpreta como el tiempo de operación esperado o más probable al cual ocurrirá una falla.

El tiempo esperado de operación de un equipo es consecuencia del nivel de confiabilidad de sus componentes. El MTBF es el único parámetro capaz de estimar de manera precisa el nivel real de confiabilidad de los equipos y es la estadística que detecta con mayor rapidez cambios en los niveles de confiabilidad de los equipos.

Para estimar el valor del MTBF de una muestra de N equipos, la fórmula más comúnmente utilizada es:

$$MTBF = \frac{T}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$T$  = tiempo total acumulado de los N equipos y,

$n$  = Número total acumulado de fallas

Este cálculo es aplicable para una muestra de N equipos donde las fallas son producto directo de la confiabilidad de sus componentes.

En condiciones reales de operación para los equipos electro sumergibles es común retirar de servicio algunos equipos por causas diferentes a una falla, por ejemplo:

- Retiro de un equipo por rediseño.
- Retiro del equipo para realizar Workover (W.O.) en el pozo.
- Retiro de equipo por abandono del pozo por alto corte de agua.

Además, se pueden tener fallas por causas externas a los componentes del equipo, como por ejemplo:

- Falla del equipo por mala operación.
- Falla del equipo por rotura de la tubería.
- Falla del equipo por problemas durante la instalación.
- Falla del equipo por condiciones del pozo no esperadas.
- Falla de equipo por mal diseño.

Los datos de tiempo de operación de las unidades retiradas de servicio en las condiciones descritas anteriormente se denominan **datos censurados**. Esta información censurada no puede ser manejada utilizando la fórmula descrita en (1), y por lo tanto se debe recurrir a técnicas más completas como los análisis de supervivencia.

El método más utilizado para el análisis de supervivencia es el propuesto por **Herd-Johnson**, el cual consiste en la clasificación ascendente de los tiempos de operación  $t_1, t_2, \dots, t_i \dots t_N$  para N equipos en una muestra que incluyen tanto fallas como datos censurados. Para cada uno de los tiempos, la función de distribución acumulada de fallas F(t) estaría definida como:

$$F(t_i) = \frac{i}{N+1} \dots\dots\dots (2)$$

De donde:

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) = \frac{N+1-i}{N+1} \dots\dots\dots (3) \text{ y}$$

$$R(t_{i-1}) = \frac{N+2-i}{N+1} \dots\dots\dots (4)$$

A partir de estas expresiones se desarrolla una relación recursiva de  $R(t_i)$  en términos de  $R(t_{i-1})$  obteniendo  $R(t_i)$  en términos condicionales de  $R(t_{i-1})$ , y recursivamente:

$$\frac{R(t_i)}{R(t_{i-1})} = \frac{N+1-i}{N+2-i} \dots\dots\dots (5)$$

Si el tiempo  $t_i$  corresponde a un dato censurado, la probabilidad condicional será 1 ya que no existe condición confirmada de falla, por lo tanto:

$$R(t_i) = R(t_{i-1}) \dots\dots\dots(6)$$

En general, la probabilidad condicional estaría definida como:

$$R\left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right) = \begin{cases} \frac{N+1+i}{N+2-i} & \text{para falla en } t_i \\ \mathbf{1} & \text{para censura} \mathbf{0} \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$



La anterior ecuación indica la probabilidad de que una unidad continúe operativa entre  $t_{i-1}$  y  $t_i$  partiendo de que estaba operando en el tiempo  $t_{i-1}$ .

La función confiabilidad para cualquier tiempo  $t_i$  estaría descrita como:

$$R(t_i) = R\left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right)R(t_{i-1}) \dots\dots\dots (8)$$

y recursivamente:

$$R(t_i) = R\left(\frac{t_i}{t_{i-1}}\right)R\left(\frac{t_{i-1}}{t_{i-2}}\right)R\left(\frac{t_{i-2}}{t_{i-3}}\right)\dots\dots\dots R\left(\frac{t_1}{t_0}\right) \dots(9)$$

con  $R(0) = 1$

Una vez que la función de confiabilidad ha sido obtenida, puede usarse para calcular el MTBF.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \approx \sum_{i=1}^N R(t_{i-1})(t_i - t_{i-1}) \dots\dots\dots(10)''$$

## 2.10. WELL PADS

### 2.10.1. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN

El diseño de este proceso de producción tiene una particularidad, que en cada locación existen varios pozos perforados en racimo, por consiguiente cada locación tiene su respectivo manifold.

Cada uno de los manifold está construido para recibir varias líneas de flujo de varios pozos.

El manifold tiene incorporado una línea de 2" con FE, FT, para la realización de pruebas de pozos, además tiene instalados PI, PIT, TIT, PSHH, PSSL, puntos de inyección de químicos y un analizador de BS&W (AE-170).



**Figura 10.** Fotografía de manifold de producción en pad del Bloque 21.

## **2.11. PROCESO DE TRATAMIENTO DEL FLUIDO DE PRODUCCIÓN EN EL BLOQUE B-21**

Las facilidades de producción, se diseñaron con el objeto de que el petróleo proveniente del yacimiento, a través de las líneas de flujo llegue desde los pozos, hasta la Estación Central de producción Yuralpa. En la cual se ha instalado las facilidades necesarias para tener un proceso de deshidratación del crudo de manera técnica y satisfactoria, una vez obtenido un petróleo con menos del 0.5 % de BS&W es bombeado por el oleoducto secundario de 16" desde Yuralpa a Puerto Napo en donde se empata con el oleoducto principal de AGIP de 16": el oleoducto principal llega a la Estación Baeza de AGIP, desde la cual se realizará la entrega del petróleo al SOTE o al OCP dependiendo del caso.

Las facilidades de producción de Yuralpa CPF consisten en un tren de equipos de procesos, el tren está diseñado para procesar 120000 Bls de fluido por día; el petróleo es tratado hasta obtener un BS&W menor a 0.5 % de BS&W para su venta y el volumen de agua tratada con menos de 15 ppm de aceite para su reinyección.

El fluido crudo-agua-gas, procedente de los pozos llega a la estación, ingresa a la bota desgasificadora (V-102), desde donde empieza el proceso de deshidratación del petróleo; luego ingresa al tanque de lavado (T-400) , el cual está diseñado para transformar el flujo turbulento de llegada (n.d.r. mayor a 2000) en laminar. Con la ayuda de un calentador de interface se impulsa la separación de agua y crudo; básicamente se realiza por diferencia de gravedad específica, esta separación forma un colchón (nivel) de agua que en el proceso continuo permite la migración (lavado) del crudo hacia la parte superior del tanque, y que las pequeñas gotas se junten entre si formando gotas más grandes que caen por gravedad y exista la separación.

De este tanque salen en 3 direcciones: agua, gas y crudo.

El agua sale con dirección a las bombas de transferencia (P 310/320/330) de agua, las cuales envían hacia el tanque de desnatado (T-440) , una vez desnatada el agua sale con dirección al tanque de inyección (T-450) , para posteriormente a través de bombas centrífugas multietapa reinyectar el agua a los pozos inyectoros de Sumino y Nemoca.

El gas sale de la bota desgasificadora (V-102), hacia un domo (V-150) que se usa para el gas de utilidad gas blanket, gas para el boiler (H-925, gas blanket, etc.), el exceso va hacia un domo (V-120), para posteriormente quemarse en una tea.

El crudo llega a las bombas de transferencia (P-330/40/50), para ser impulsado hacia el intercambiador cruzado (E-280/290) ingresando con una temperatura de 160 °F y saliendo del intercambiador con 212°F, para luego ingresar a los intercambiadores de tubos (E-230/240) elevando su temperatura a 250° F, y finalmente para completar la fase de deshidratación ingresa a los tratadores electrostáticos (V-200/210), con la finalidad de

eliminar el remanente de agua, para salir del mismo con 0.5% de BS&W y dirigirse al tanque de almacenamiento (T-410), para su posterior exportación por el oleoducto Yuralpa – Puerto Napo e ingresar al oleoducto de la compañía AGIP, y por el mismo llegar a la Estación Baeza y de ahí entregar al oleoducto SOTE.

## **2.11.1. SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN DE PETRÓLEO**

### **2.11.1.1. Bota de Gas (GAS BOOT)**

La bota de gas (V-102), proporciona la primera etapa de separación del gas y crudo antes que éste ingrese al tanque de lavado. La bota de gas es un recipiente cilíndrico instalado verticalmente, de 36” de diámetro y 40’ de altura, está diseñada para trabajar máximo a 150 p.s.i.g. y 200 ° F.



**Figura 11.** Fotografía de bota de gas V-102

Para su correcto funcionamiento la bota cuenta con accesorios adicionales como PIT, PSV, FE, FIT, PV.

La bota mantiene una presión de trabajo de 8 psig, el exceso de gas se usa para gas de utilidades y el gas remanente se quema en la tea.

### 2.11.1.2. Tanque de Lavado (WASH TANK).

El tanque de lavado (T-400) recibe directamente de la bota (V-102), ingresa básicamente un fluido bifásico (agua-petróleo) para ser separados por tiempo de residencia, temperatura y diferencia de densidades (gravedad). El gas remanente que resulta del proceso es direccionado a la tea de baja presión.



**Figura 12.** Fotografía de Tanque de lavado T-400

Este tanque tiene una capacidad de 11000 bls, es un recipiente cilíndrico con un diámetro de 50' y una altura de 32', tiene 2 válvulas PSV de protección de 1.5 onz. para sobre presión y 1 onz de vacío a 200 °F, como máximo.

El correcto funcionamiento del tanque de lavado depende del tiempo de residencia del crudo, del nivel del colchón de agua, en el cual se va a desarrollar la deshidratación permitiendo separar la mayor cantidad de agua del crudo, para esto cuenta con accesorios adicionales como: el calentador de interface (E-260A/B) alimentados con aceite térmico, accesorios de



muestreo a diferentes niveles para determinar la calidad del crudo, un bafle de rompimiento de emulsiones, un recipiente interior para crudo limpio (oil bucket), al cual pasa por rebose a una altura de 26", líneas de drenaje de agua, gas y línea de crudo.

Este equipo tiene instalado accesorios de control y seguridad para su buena operación.

### **2.11.1.3. Bombas de Transferencia de Petróleo (OIL TRANSFER PUMPS).**

Las bombas de transferencia de crudo (P-330/40/50), con una capacidad de 12500 BPD, tienen incorporado un motor eléctrico de 60 HP y puede levantar una presión de 80 psi.

La función específica de estas bombas es transferir crudo con dirección hacia los intercambiadores de calor cruzado de crudo.



**Figura 13.** Fotografía de bombas transfer P-330/340/350

Las tres bombas vienen instalados en un solo skit, para su buen funcionamiento están provistas de accesorios como PI, RO, PDI.

#### **2.11.1.4. Intercambiadores de Calor Cruzado de Petróleo (CROSS EXCHANGER).**

Los intercambiadores de calor cruzado de crudo (E-280-290), pueden trabajar en el lado caliente entrada /salida 250 °F con 50 psi / 190 °F con 40 psig, en el lado frío entrada y salida 160°F con 75 psi / 212° F con 65 psi. Tienen una capacidad de producción de calor de 6.2 MMBTU/HRA.



**Figura 14.** Fotografía de Cross Exchanger E- 280 / 290.

Los intercambiadores de calor cruzado en este proceso son utilizados para transferir calor hacia el flujo de crudo proveniente del tanque de lavado, utilizando el flujo de crudo caliente que sale de los tratadores electrostáticos (V-200/210), este proceso es fundamentalmente para reducir la viscosidad y facilitar la separación del agua del crudo.

La ganancia de calor en estos intercambiadores es de 52 °F aproximadamente.

Estos intercambiadores están provistos de instrumentación de control y seguridad para su buen funcionamiento.

#### **2.11.1.5. Calentadores de Petróleo (OIL HEATERS).**

Los calentadores de crudo (E-230/240) trabajan en el lado caliente, entrada y salida con 500 ° F a 40 psig / 300 ° F a 30 psig, y en el lado frío con entrada y salida 212 ° F a 65 psig / 250 ° F a 55 psig , y tiene una capacidad de calentamiento de 475 MMBTU / Hora cada uno.



**Figura 15.** Fotografía de Intercambiadores de Calor. (E-230/240)

Estos calentadores sirven para transferir el calor del sistema de aceite térmico caliente hacia el crudo del proceso proveniente de los intercambiadores de calor cruzado (Cross Exchange), esto sirve para mejorar la separación de agua del crudo.

El calor transferido es aproximadamente de 38 °F.

Estos equipos están provistos de instrumentación y accesorios que facilitan su buen funcionamiento.



### 2.11.1.6. Tratadores Electrostáticos (OIL TREATERS).

Los tratadores electrostáticos (V-200/210) tienen las siguientes dimensiones: 10' diámetro por 30' de longitud, diseñado para trabajar máximo a 150 PSIG a 300 °F, para un trabajo en condiciones normales de 50 PSIG a 250 ° F con 100 KVA y una capacidad de 15000 BOPD.

El crudo proveniente de los calentadores de crudo (oil heaters) pasa por estos equipos, siendo el último punto de separación del agua, para pasar al tanque de almacenamiento. El BS&W del petróleo es menor a 0.5% a la salida de los tratadores electrostáticos.



**Figura 16.** Fotografía de los deshidratadores electrostático V-200/210

Los tratadores electrostáticos están provistos de toma muestras a diferentes niveles para determinar la calidad del crudo en su interior y de elementos de control para su correcto funcionamiento.

### **2.11.1.7. Tanque de Almacenamiento (STORAGE TANK).**

El tanque de almacenamiento (T-410) tiene las siguientes dimensiones: 70' diámetro por 32' de altura. Para trabajar como máximo a 2 oz de presión y 0.5 oz de vacío, a 250 ° F, tiene una capacidad de almacenamiento de 20000 Bbls.

Está provisto de 2 válvulas de presión y vacío (PVSV) para proteger una sobre presión o vacío, además está provisto de un sistema automático de control para su funcionamiento normal.



**Figura 17.** Fotografía de Tanque de almacenamiento de petróleo T-410.

El T-410 almacena el petróleo que sale bajo especificaciones para exportación desde los tratadores electrostáticos.

### **2.11.1.8. Bombas Booster de Petróleo (OIL BOOSTER PUMPS).**

Las bombas booster de petróleo (P-500/510/520), son bombas centrífugas que pueden trabajar como máximo a 240 psig a 250 ° F, tienen una capacidad de 10000 BPD a 50 psig y un motor eléctrico de 20 HP cada una.

Estas bombas toman crudo del tanque de almacenamiento para enviarlas a las unidades LACT de fiscalización y tienen elementos de control para su buen funcionamiento.



**Figura 18.** Fotografía de bombas booster de petróleo P-500/510/520

#### **2.11.1.9. Unidades LACT ( LACT UNIT).**

Este skit (SK-600) consta de dos unidades con sus respectivos filtros, detector de BS&W, sampler para recoger muestra durante las 24 horas y un probador bidireccional para realizar las calibraciones de los medidores de flujo.

Estas unidades tienen la misión de contabilizar el crudo ya tratado que se transportará por el oleoducto de AGIP y se entregará luego por medio del SOTE a EP PETROPRODUCCION.



**Figura 19.** Fotografía de unidad LACT Yuralpa (SK- 600 A/B).

La unidad Lact (SK-600) tienen una capacidad total de fiscalización de 30000 BPPD, el rango de trabajo operativo es de 50 psig a 190° F, la presión máxima de trabajo es de a 240 PSIG a 200 ° F.

Este equipo consta de instrumentos de control y seguridad para su normal operación.

#### **2.11.1.10. Bombas de Exportación de Petróleo (OIL SHIPPING PUMPS).**

Las bombas de exportación de crudo (P-540/550), pueden trabajar máximo a 3375 psig a 200 ° F , y una capacidad operacional de 20000 BPPD a 2400 PSI. Cada unidad tiene incorporado un motor eléctrico de 1750 HP.





**Figura 20.** Fotografía de bombas shipping de exportación de petróleo (P-540/550).

Estas bombas tienen como misión transferir el crudo tratado y limpio desde Yuralpa hacia Baeza.

También tienen incorporadas válvulas de seguridad calibradas a 3200 psig, en caso de una sobre presión, y además instrumentos para control.

#### **2.11.1.11. Lanzador de Limpiadores De Tubería (OIL PIG LAUNCHER).**

El lanzador de chanco (ST-610), puede trabajar como máximo a 5000 psig a 200 ° F, y en operación normal a 4500 psig a 190 °F con una capacidad de 30000 BOPD.

Tiene instalado una válvula de seguridad (PSV 610) calibrado a 5000 psig en caso de sobre presión.



**Figura 21.** Fotografía de lanzador de “raspadores” de oleoducto Yuralpa - Puerto Napo.

Este lanzador sirve para alojar un limpiador – raspador (chancho) para limpiar la tubería interiormente de parafinas, sedimentos, etc.

### **2.11.2. TANQUE DE RECICLADO (RECYCLE TANK)**

El tanque de reciclado (T-420) recibe todo el crudo que requiere ser tratado nuevamente en el sistema; cuando el valor de BS&W está sobre el 0.5% de BS&W, el fluido retorna al tanque de reciclaje por acción de una válvula de tres vías que es accionada cuando el analizador electrónico de BS&W detecta el incremento de BS&W sobre en valor permitido. Posteriormente el fluido pasa a un calentador (E-250) y con ayuda de las bombas de reciclaje (P360/370) se envía hacia el tanque de lavado, así empieza nuevamente el tratamiento.



**Figura 22.** Fotografía de Tanque de Reciclado (T-420).

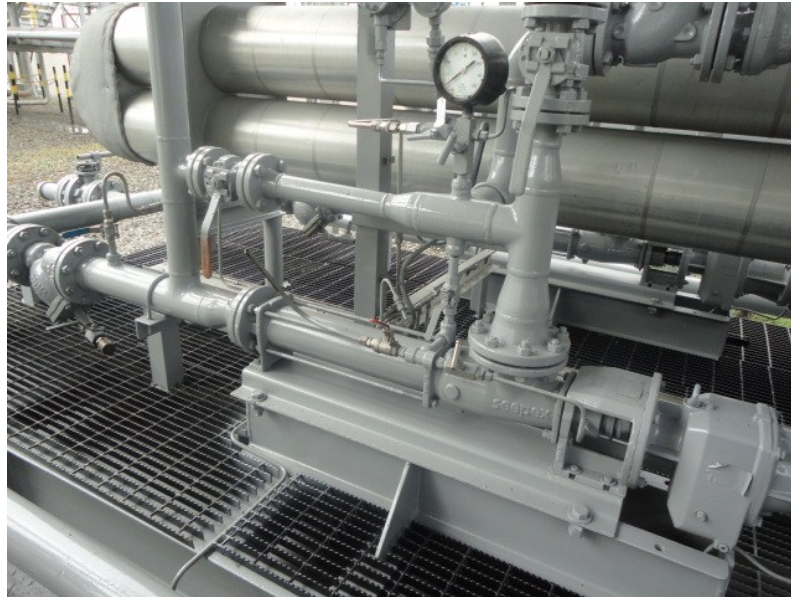
Este tanque tiene como dimensiones 70' diámetro por 32' de altura para trabajar como máximo 16 oz de sobre presión 1 oz de vacío a 200 ° F, en condiciones operacionales trabajará a 6 oz de presión a 160 ° F con una capacidad de 20000 barriles.

Este Tanque tiene la particularidad que está diseñado para desempeñar varias funciones (separación-lavado, reciclaje y almacenamiento).

Tiene instalado válvulas de sobre presión y vacío, e instrumentación para su control y buen funcionamiento.

#### **2.11.2.1. Bombas de Reciclado ( RECYCLE PUMPS ).**

Estas bombas de reciclado (P-360 / 370) son bombas de cavidad progresiva para trabajar máximo a 275 PSIG a 200 ° F, en condiciones operacionales pueden trabajar a 100 GPM a 45 PSIG, están acopladas a un motor eléctrico de 5 HP.



**Figura 23.** Fotografía de Bombas de Reciclaje (P-360/370).

Estas bombas toman el crudo del tanque de reciclado para enviarlo hacia el tanque de lavado (T-400), previo a esto el fluido pasa por el calentador del fluido de reciclo (E-250) para mantener la temperatura ideal del fluido retratado.

#### **2.11.2.2. Calentador de Petróleo Reciclado (RECYCLE TANK HEATER).**

El calentador de crudo reciclado (E-250) trabaja en el lado caliente entrada y salida con 500 ° F a 65 PSIG / 300 ° F a 55 PSIG y en el lado frío entrada y salida con 90 ° F a 45 PSIG / 160 ° F a 35 PSIG, con una capacidad de calentamiento de 3.2 MMBTU/Hora. Puede trabajar como máximo a 140 PSIG a 600 ° F.





**Figura 24.** Fotografía de Intercambiador de calor (E-250)

Este equipo transfiere calor del sistema de aceite térmico hacia el crudo reciclado, la ganancia de temperatura es aproximadamente de 70 ° F. El crudo caliente se envía al tanque de lavado para procesarlo otra vez.

El calentador está provisto de equipos de control y protección para su normal funcionamiento.

### **2.11.2.3. Calentador de petróleo combustible (FUEL OIL HEATER).**

El calentador de crudo para combustible (E-255) calienta el crudo que se va a usar en la planta de generación, trabaja en el lado caliente entrada y salida 500 ° F a 40 PSIG / 300 ° F a 35 PSIG y en el lado frío entrada y salida 70 ° F a 50 PSIG / 150 ° F a 45 PSIG



**Figura 25.** Fotografía de Intercambiador de calor (E-255).

El intercambiador de calor (E- 255) tiene una capacidad de calentamiento de 0.34 MMBTU /HRA. Puede trabajar máximo a 140 PSIG a 600° F.

El E-255 está provisto de instrumentación de control y protección para una buena operación.

### **2.11.3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE FORMACIÓN**

#### **2.11.3.1. Bombas Booster de Recuperación de Agua (WATER TRANSFER PUMPS).**

Las bombas booster de agua (P-300/310/320), tienen la misión de evacuar toda el agua separada del T-400 y del T-420 y enviarlo al T-440, para su limpieza y luego inyectarlo al pozo de agua.



**Figura 26.** Fotografía de Bombas Transfer P-300/310/320.

Tienen una capacidad de 34000 a 25 PSIG cada uno, y tiene acoplado un motor de 50 HP cada uno. Presión máxima de trabajo 275 PSIG y temperatura máxima 200 ° F.

#### **2.11.3.2. Tanque de Desnatado (WATER SKIM TANK).**

El tanque de desnatado (T-440), recibe el agua de formación que es enviada por las bombas (P-300/310/320) desde el tanque de lavado (T-400) y de los fondos de los tratadores electrostáticos (V-200/210). En él se produce la separación del residual de aceite del agua por tiempo de residencia y gravedad, luego de esto pasa al tanque de almacenamiento de agua (T-450) para inyección.



**Figura 27.** Fotografía de Tanque de Desnatado (T-440).

Sus dimensiones son 48' de diámetro x 32' de altura y una capacidad de 10000 barriles.

Este tanque está provisto de un recipiente en su interior para la recolección del residual de aceite que va con el agua.

Este equipo está provisto de instrumentación de control y seguridad para su buen funcionamiento.

### **2.11.3.3. Tanque de Almacenamiento de Agua (WATER INJECTION TANK).**

El tanque de almacenamiento (T-450) recibe toda el agua de formación con un contenido de residual de aceite menor a 15 ppm del tanque de desnatado (T-440). El proceso de re-inyección es dinámico ya que el agua producida diariamente debe ser inyectarla hacia los pozos re-inyectores con que cuenta el bloque 21 (Sumino y Nemoca).





**Figura 28.** Fotografía de tanque de reinyección de agua (T-450).

Sus dimensiones son 48' de diámetro x 32' de altura y una capacidad de 10000Bls.

Este equipo también está provisto de un recipiente interior para recolectar el aceite residual que llega con el agua.

El control de nivel del tanque se realiza mediante el uso de instrumentación electrónica de control y la presión del tanque es regulada por medio de válvulas de presión y vacío para seguridad del mismo en operación normal.

#### **2.11.3.4. Bombas Booster de Agua (WATER BOOSTER PUMP).**

Las bombas booster de agua (P-560/570/580) son bombas centrifugas que funcionan con motor eléctrico, tienen la función de dar succión a las bombas de re inyección de alta presión con que cuenta el sistema.



**Figura 29.** Fotografía de bombas booster de reinyección de agua (P-560 /570/580).

La capacidad de estos equipos es de 30000 barriles a 30 PSID cada uno y están acoplados a unos motores de 25 HP.

Tienen acoplados instrumentación de control para su buen funcionamiento.

#### **2.11.3.5. Bombas de Reinyección de Agua (WATER INJECTION PUMPS).**

Las bombas de inyección de agua (P-710/720/730) inyectan hacia el pozo inyector.

Estas bombas tienen una capacidad de inyección de 23150 BAPD a una presión de 2625 psig cada uno. La presión máxima de trabajo de estos equipos es de a 3375 psig a una temperatura de 200 ° F.



**Figura 30.** Fotografía de bombas de reinyección de alta presión (P-710/720/730).

Estos equipos tienen instalados instrumentos de control y seguridad para su operación normal.

#### **2.11.4. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GAS**

##### **2.11.4.1. Separador de Gas de Utilidades (UTILITY GAS SCRUBBER).**

El scrubber de gas de utilidad (V-150) es un recipiente que toma gas de las botas de gas (V-102/105) y los acondiciona para ser utilizado en diferentes utilidades como: gas blanket en todos los tanques del proceso, llama piloto para la tea, combustible para el boiler (caldera), etc.

Sus dimensiones son 12" de diámetro por 8' de alto, para trabajar en condiciones operacionales con 5 psig a 160 °F, y puede procesar 0.3 MMSCFD.



**Figura 31.** Fotografía de Separador de Gas de Utilidades (V-150).

El rango máximo de trabajo es de 150 psig a 200 °F.

Este equipo está provisto de instrumentación de control y seguridad para su buen funcionamiento.

#### **2.11.4.2. Separador de Gas de Alta Presión (H.P. FLARE SCRUBBER).**

El flare scrubber de alta presión (V-120), es un recipiente que recibe todo el exceso de gas de los equipos que están sometidos a presión: las botas de gas (V-102/105), en este recipiente se separan del gas todos los hidrocarburos líquidos livianos que se condensan, luego pasa por un arresta llamas y va a quemarse a la tea de alta presión.





**Figura 32.** Fotografía de Separador de Gas de Alta Presion (V-120).

Sus dimensiones son 42" diámetro por 12' de largo, para trabajar a 2 psig a 160° F

Puede trabajar como máximo a 150 psig a 200 °F.

Este equipo está provisto de instrumentación de control y seguridad, para su buen funcionamiento.

#### **2.11.4.3. Separador de Gas de Baja Presión (L.P. FLARE SCRUBBER).**

El flare scrubber de baja presión (V-140) es un equipo que trata el gas que proviene de los desfuegos de los tanques del proceso de crudo y agua, luego el mismo pasa hacia un arresta llamas, para finalmente quemarse en la tea de baja presión. En este equipo se recolecta los condensados y agua.

Sus dimensiones son 24" ID por 10' de altura, en condiciones normales trabaja a 0.5 PSIG a 160 ° F, y tiene una capacidad de operación de 1.1 MMSCFD.

Puede trabajar como máximo a 150 PSIG a 200 ° F.

Este equipo está provisto de instrumentación de control y seguridad, para su buen funcionamiento,

#### **2.11.4.4. Bombas del Separador de Gas de Baja Presión (L.P. FLARE PUMPS).**

Las bombas del acondicionador de gas de baja presión (P-650/655), son bombas de desplazamiento positivo que bombean los fluidos recolectados hacia el sumidero; en condiciones normales trabajan con una capacidad de 10 GPM a 10 psig, tienen acoplado un motor eléctrico de ½ HP y una capacidad máxima de 275 psig a 200 ° F.

Estas bombas están provistas de instrumentación de control y seguridad para su buen funcionamiento.

#### **2.11.4.5. Mechero o Tea.**

Los mecheros de baja y alta presión (Z-650) son equipos de seguridad a dónde va el exceso de gas de todo el proceso a quemarse hacia el ambiente.



**Figura 33.** Fotografía de Sistema de teas de CPF Yuralpa (Z-650).

La capacidad total de procesamiento de estos equipos es de 5 MMSCFD, y tienen una altura de 30'.



**Figura 34.** Fotografía de Sistema de teas de alta y baja presión de CPF Yuralpa (Z-650).

## **2.11.5. SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

### **2.11.5.1. Tanque de Almacenamiento de Aceite Térmico (THERMINOL TANK).**

El tanque de almacenamiento de aceite térmico (T-409), tiene por objetivo suplir la falta de aceite en el circuito de aceite caliente. Sus dimensiones son 6' de diámetro X 10' de alto, con una capacidad de 50 barriles. Trabaja normalmente a presión atmosférica y a temperatura ambiente.

La bomba del tanque de almacenamiento (P-409) es de desplazamiento positivo, su misión es la de inyectar aceite térmico al circuito cuando el nivel haya bajado en él (V-130), con una capacidad de 10 GPM a 15 psig; la bomba se encuentra acoplada a un motor de 1 HP.

### **2.11.5.2. Tanque Recolector de Aceite Térmico Caliente (HEAD MEDIUM EXPANSION TANK).**

El tanque de almacenamiento de aceite térmico (V-130), contiene el aceite caliente para enviarlo a los intercambiadores de calor.

Sus dimensiones son 96" O.D. x 10' de largo, una capacidad de 3000 Glns; y puede trabajar normalmente a 3 psig a 500 °F, y como máximo a 140 psig a 600 °F.

Este recipiente tiene instalado instrumentos de control y seguridad para su operación normal.



**Figura 35.** Fotografía de Tanque de Expansión Térmico (V-130) y Sistema de Bombas de Circuito de Aceite Térmico (P-840/850).

### **2.11.5.3. Bombas de Transferencia de Aceite Térmico (HEAD MEDIUM CIRCULATION PUMPS).**

Las bombas de transferencia de aceite térmico caliente (P-840/850) son bombas centrífugas que toman el aceite caliente del tanque recolector de aceite (V-130) y envían hacia los intercambiadores de calor (E-230/240; E-250; E-255 y E-260 A/B).



Pueden trabajar normalmente con 3 psig de succión, 70 psig de descarga a 500 °F y con una capacidad de 390 galones por minuto. Tienen acoplado un motor de 50 HP cada uno.

Estos equipos tienen instalados instrumentos de control para su buen funcionamiento.

#### **2.11.5.4. Recuperadores de Calor por Intercambio Térmico con Gases de Escape (WASTE HEAT RECOVERY HEATER).**

Los calentadores de aceite con gases del escape (H- 900/910/920) usan los gases de desecho de los escapes de los motores de combustión interna Wartsila.

Este equipo puede trabajar en la entrada con 20 psig a 350 °F y en la salida con 10 psig a 500 °F, tiene una capacidad de calentamiento de 4.4 MMBTU / HORA cada uno.

Estos calentadores pueden trabajar con rangos máximos de 140 psig de presión a una temperatura de 600 °F.

Para poder controlar las temperaturas operacionales normales tienen instalados instrumentación de control y seguridad adecuados.



**Figura 36.** Fotografía de Sistema de Recuperadores de Calor para Aceite Térmico (H900/910/920/930).

#### **2.11.5.5. Calentadores Eléctricos (ELECTRIC TRIM HEATERS).**

Los calentadores eléctricos (J-220 A/B/C/D/E/F/G/H), aumentan la temperatura del aceite que proviene del (H-925) y ajustarlo a 500 °F.



**Figura 37.** Fotografía de Calentadores Eléctricos (J-220 A/B/C/D/E/F/G/H).

Puede trabajar con 460 °F a la entrada y con 500 °F a la salida.

Requieren 0.2 Mega Watts de consumo por cada calentador ( total 1.6 MW ).

Como máximo puede trabajar a 140 PSIG a 600 °F.

#### **2.11.5.6. Calentador de Interfase del Tanque de Lavado (INTERFACE HEATER).**

El calentador (E-260 A/B) tiene la misión de calentar la interfase del crudo y agua del T- 400 para lograr su separación.

Trabaja con 500 °F a 60 PSIG en la entrada y con 175 °F a 55 PSIG a la salida, con una capacidad de calentamiento de 2.5 MMBTU / Hora cada uno.

Su máximo rango de trabajo es de 140 PSIG a 600 °F.

Los equipos tienen instalados instrumentos de control para su operación normal.

## 2.11.6. SISTEMAS UTILITARIOS

### 2.11.6.1. Sumidero de Drenajes Cerrados (CLOSED DRAIN SUMP).

El sumidero (V-160) recoge todo el fluido de los drenajes de toda la planta de tratamiento.



**Figura 38.** Fotografía de Closed Drain ( V-160).

Sus dimensiones son 60" de diámetro x 16' de largo, normalmente trabaja a 3 psig a 160 ° F, y como máximo a 250 psig a 250 ° F.

Tiene una capacidad de almacenamiento de 50 barriles.

Este equipo tiene instalado para su buen funcionamiento instrumentos de control y seguridad, y dos bombas sumergibles (P-780/790) para su evacuación.

Las bombas del sumidero (P-780/790) son de cavidad progresiva, su finalidad es evacuar el contenido del sumidero hacia la entrada de la bota (V-102) para introducirlo nuevamente al sistema para su tratamiento.

Estas bombas pueden trabajar normalmente a 50 GPM a 30 psig cada uno, y tiene acoplado un motor de 5 HP.

Pueden operar con un rango máximo de 150 psig a 250 ° F.

Estas bombas tienen acoplados instrumentos de control y seguridad para su operación normal.

#### **2.11.6.2. Separador API (API SEPARATOR).**

El separador API (T-470), consta de dos compartimentos, en el uno recoge todos los drenajes de agua lluvia de todos los skids del proceso y limpia la mínima cantidad de aceite, este aceite pasa al otro compartimento (oil drain) y el agua lluvia libre de impurezas se descarga al medio ambiente.

El otro compartimento (oil drain) recoge el fluido de los toma muestras de los tanques (T-400, T-410, T-420, T-440, T-450), y de los oil Treater (V-200/210).

Las dimensiones del separador API son 16' x 28' x 6.6', puede trabajar normalmente a temperatura ambiente y a la presión atmosférica.

Tiene instalado instrumentos de control para su operación normal.



**Figura 39.** Fotografía de Separador API y Open Drain (T-470).



Las bombas del separador API (P-800/810) son de cavidad progresiva, que evacuan todo el aceite del compartimiento (oil drain) hacia la entrada del proceso. Son bombas que normalmente pueden trabajar a 50 GPM a 50 PSIG y tienen acoplado un motor de 5 HP cada uno.

Como máximo pueden trabajar a 275 PSIG a 200 °F .

Tienen acoplados equipos de control para su buen funcionamiento.

### **2.11.6.3. Compresores y Sistema Contra Incendios.**

Existen en la planta dos compresores (C-810/820) que nos permitirán entregar aire comprimido al sistema de instrumentación.



**Figura 40.** Fotografía de Sistema de Compresores de Aire de Instrumentos y Utilidades (C-810/820).

Además la planta cuenta con un sistema contra incendios, con dos bombas, una con motor eléctrico y otra con motor de combustión interna. El agua para el uso contra incendios y potable se almacena en el tanque T-495, el mismo que tiene una capacidad de 10.000 barriles. El agua se extrae del río Canoayácu.



**Figura 41.** Fotografía de Sistema Contra Incendios (P-880/890).

El sistema contra incendios está dotado de dos bombas, la una eléctrica (P-880) y la otra con motor de combustión (P-890), además de un sistema de espuma que da abasto a los tanques T-400/410/420.

#### **2.11.6.4. Sistema de Almacenamiento de Químicos.**

Los tanques de almacenamiento de químicos T-940 A/B son tanques que van a almacenar químico demulsificante y los tanques T-941 A/B, almacenan químico antiespumante, tienen una capacidad de 500 galones cada uno, y trabajan bajo condiciones ambientales, y como temperatura máxima de 140 °F a presión atmosférica.

Estos tanques tienen instalados visores de nivel para poder revisar el nivel.

Las bombas de inyección de químico demulsificante (P-945 A/B), y de antiespumante (P-946 A/B) son bombas de desplazamiento positivo; estos equipos inyectan el químico hacia la línea de ingreso del fluido a ser tratado, tienen una capacidad de 20 GPM a 50 PSI y tienen acoplado un motor de 0.25 HP cada uno.



**Figura 42.** Fotografía de Sistema de almacenamiento e inyección de Químicos.

Las bombas tienen rangos máximos de operación para presión y temperatura que se encuentran en 150 psig y 250 °F.

Estas bombas tienen instalados equipos de control para su correcto funcionamiento.

## **2.12. TRATAMIENTO QUÍMICO**

En la explotación petrolera, surgen problemas especiales relacionados en gran parte al agua presente en los fluidos extraídos.

El agua de formación casi siempre es de naturaleza ácida o salobre y tenderá a corroer el metal y el equipo en contacto con ella.

Por otro lado el agua y el aceite forman emulsiones muy difíciles de tratar y que hay que resolver para poder enviar el crudo limpio a la refinería.

El agua a menudo está súper saturada de compuestos o sales incrustantes, esto causa depósitos duros y muy difíciles de remover que afectan al flujo a través de tuberías y redes superficiales.

### **2.12.1. USO Y DOSIFICACIÓN DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN**

El fenómeno de la corrosión puede definirse como el ataque químico o electroquímico que sufren los materiales metálicos por acción del medio ambiente, siempre y cuando conlleve un deterioro de dicho material.

Dentro de las operaciones hidrocarburíferas, por las características de los fluidos producidos y las condiciones físicas y dinámicas que se presentan en los sistemas, los principales factores que inciden en los procesos corrosivos y en la velocidad de los mismos son:

- **El efecto del PH.-** A muy bajos valores de PH normalmente a valores menores a 4, la reacción catódica es la reducción del ion hidrógeno para producir hidrógeno gas.
- **Efecto de la temperatura.-** La corrosión la hemos expresado como una serie de reacciones químicas, como resultado la velocidad de algunas de estas reacciones aumentará según se incremente la temperatura. Cambios en la temperatura pueden influenciar en la composición química y propiedades físicas del agua de formación que se produce asociada con el crudo, ya que puede afectar la solubilidad de ciertas sales y gases disueltos.
- **Efecto de las sales disueltas.-** Las sales existentes en los yacimientos en su mayoría están constituidas por NaCl, la cual disocia en Cl<sup>-</sup> y en Na<sup>+</sup>, el anión Cl<sup>-</sup> de acuerdo a los estudios de corrosión y evidencias es uno de los iones de mayor agresividad en la corrosión de metales utilizados en tuberías para conducir agua.

Adicionalmente entre las principales causas de corrosión podemos señalar las siguientes:

- **Creación de ánodos localizados.-** El proceso se inicia por la creación de una celda galvánica.
- **Corrosión por oxígeno.-** Superficies expuestas a la atmósfera pueden sufrir corrosión.
- **Corrosión por dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.-** Se encuentra en los yacimientos petrolíferos, al disolverse forma ácido carbónico que contribuye a la corrosión pozo abajo.
- **Corrosión por sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S.-** Gas que se disuelve en el agua, su producto es el sulfuro de hierro
- **Corrosión por bacterias.-** Bacterias sulforeductoras (anaerobias) y bacterias que producen ácido (aerobias).

#### 2.12.1.1. Métodos de Control de la Corrosión.

Existen varias formas para enfrentar los fluidos corrosivos:

- Selección de materiales adecuados
- Selección de recubrimientos
- Inhibición de la corrosión mediante “Inhibidores Químicos”
- Protección catódica

El mayor uso y costo en la industria petrolera lo representan los **Inhibidores Químicos**. El empleo de estos agentes es uno de los métodos más universales, y por tanto difundido e la lucha contra la corrosión. Los inhibidores químicos han sido llamados como los de primera línea de defensa contra la corrosión en la industria petrolera.

Se acostumbra a definir como inhibidor de corrosión a aquellas sustancias químicas que adicionadas al medio corrosivo en pequeñas cantidades producen la disminución sensible de la velocidad de corrosión.

Los inhibidores se pueden clasificar en:

- Inorgánicos.- Estructuras cristalinas como Cromatos. Fosfatos, Nitritos, Arsénico, etc,

- Orgánicos.- Compuestos nitrogenados de cadena larga que forman una película protectora.

Para tratar la corrosión mediante inhibidores químicos existen algunos métodos aplicados desde el fondo del pozo, entre los cuales tenemos:

- Tratamientos "BATCH".- inhibidor con agua es bombeado hacia el espacio anular, se utiliza en pozos de baja profundidad (700 pies sobre la bomba).
- Por circulación.- Inhibidor bombeado hacia el espacio anular y se deja varias horas de permanencia.
- Inyección continua.- Cuando se tienen altos volúmenes de fluido.
- Inyección forzada.- se inyecta químico a la formación y se cierra el pozo por varias horas para permitir la adsorción a la roca.
- Inhibidores desde el fondo del pozo o micro cápsulas.- Se deja caer material de alta densidad hacia el fondo del pozo.

### **2.12.2. USO Y DOSIFICACIÓN DE INHIBIDORES DE INCRUSTACIONES.**

La composición del agua en cuanto a su contenido de minerales varía de acuerdo con el tipo de estrato o formación de donde provenga. Los principales minerales presentes en el agua son: carbonato de calcio, carbonato de magnesio (dolomita), sulfato de calcio (yeso), sulfato de magnesio, sílice (arena), cloruro de sodio (sales comunes), pequeñas cantidades de hierro, manganeso, flúor, aluminio y otras sustancias.

La producción de petróleo está acompañada de la producción de agua, la cual tiene los siguientes compuestos indeseables:

- Cloruros en cantidades mayores a 5000 ppm
- Bicarbonatos en concentraciones mayores a 800 ppm
- Residuos de demulsificantes
- Residuos de inhibidores de corrosión
- Bacterias sulfo reductoras

- Sulfuro de hierro en concentraciones mayores a 20 ppm
- Metales pesados como cromo, níquel, vanadio, etc.

En los procesos de obtención del petróleo, las condiciones físicas del agua de producción son alteradas, resultando en condiciones inestables del agua; debido a esta inestabilidad, los compuestos indeseables precipitan, formando incrustaciones o depósitos sobre los diferentes equipos. Los depósitos en términos simples, son la acumulación de sedimentos o sólidos asentados que se fijan en algún punto de un sistema donde la velocidad del agua disminuye a un nivel bajo que no es capaz de arrastrar al material en la corriente. Es raro que un compuesto esté formado por una sola sustancia, y casi siempre es una acumulación de materiales.

Dentro de la industria petrolera se utiliza el término **escala** para referirse a las incrustaciones, por lo que en adelante solo no referiremos con éste término exclusivamente para las incrustaciones.

#### **2.12.2.1. Formación de Escala.**

La mayoría de agua contiene cantidad de impurezas disueltas, las cuales se presentan como iones. Ciertas combinaciones de estos iones forman compuestos, los cuales tienen muy poca solubilidad en el agua. El agua tiene una limitada capacidad para mantener estos compuestos en solución, y una vez que esta capacidad o solubilidades excedida, los compuestos precipitan de la solución como sólidos.

Algunas veces el agua llegará a estar “sobresaturada” con respecto a un compuesto en particular. Las soluciones súper saturadas son muy inestables, y pueden fácilmente ser disturbadas por agitación. El paso de agua súper saturada a través de una bomba o restricción puede ocasionar una rápida precipitación de sus compuestos. Los sólidos precipitados pueden también estar en suspensión en el agua, o pueden formar una escala coherente en superficies como la tubería de los pozos.

### **2.12.2.2. Problemas de Escala.**

La escala se puede depositar en casi cualquier parte de los sistemas de conducción o tratamiento del agua de formación como en las líneas, tubing, líneas de succión, perforaciones, empacaduras, líneas de flujo, etc.; por lo que su acumulación producirá: pérdida de producción; incremento de los costos de extracción; fallas de los equipos; problemas en el tratamiento del crudo; problemas en la inyección del agua; etc.

Las escalas más comunes son el carbonato de calcio o calcita, sulfato de calcio, sulfato de bario, etc, la primera de estas es la más frecuente y afortunadamente la más fácil de remover.

En conclusión, la escala se depositará siempre que exista: a) un decrecimiento de la presión; b) un cambio de temperatura; c) un cambio en el contenido de las sales disueltas; d) adición de fluidos de completación que contienen calcio.

Cuando la escala es detectada se la remueve mediante acidificación. Pero para prevenir futuros depósitos de escala o que esta se forme en nuevos sistemas es necesario utilizar la inhibición de la escala, esto se logra con los químicos inhibidores, los mismos que pueden ser aplicados a los pozos, a los equipos de superficie o sobre la formación con el objetivo de evitar su formación.

Los químicos inhibidores trabajan de acuerdo con los siguientes mecanismos:

- Dispersantes
- Anti-precipitantes
- Secuestrantes
- Modificadores de cristales



El mayor mecanismo de los inhibidores de escala es la modificación de cristales; en ese caso, este químico actúa formando una película alrededor de las partículas de escala evitando el aumento de tamaño de los cristales.

Los químicos dispersantes y anti-precipitantes actúan previniendo la deposición de los cristales.

En el mercado existen una variedad de inhibidores y removedores de escala denominados “SP” SCALE PREVENTIVE, entre los cuales tenemos: Fosfatos inorgánicos, Polímeros, Esteres fosfatos, etc.

### **2.12.3 USO Y DOSIFICACIÓN DE DEMULSIFICANTES**

Para poder separar el crudo del agua, se agregan determinadas sustancias químicas llamadas DEMULSIFICANTES, los cuales se concentran en la interfase de la emulsión y atacan la sustancia causante de la emulsión ya sea por alteración de la tensión interfacial, por variación de la MOJABILIDAD, debilitación de la película emulsificante o neutralizando las cargas de los glóbulos de la emulsión.

Los agentes DEMULSIFICANTES más comunes para emulsiones normales son: sílice finamente pulverizada, óxido de hierro, arcilla, sales solubles en agua (NaCl), ácido sulfúrico, etc.

Para la determinación del demulsificante apropiado, se realizan pruebas de laboratorio, variando productos y dosificaciones.

### **2.13. SISTEMA DE GENERACIÓN CENTRALIZADO**

La energía eléctrica para el proceso, los well pads y todos los equipos utilitarios con que cuenta el bloque es generada en la planta centralizada (PGP) ubicada junto a las facilidades centrales de procesamiento de Yuralpa (CPF).



**Figura 43.** Fotografía de Planta de Generación de Energía Eléctrica (PGP).

La Planta de Generación está equipada con cuatro motores generadores Wartsila 12V32LN, cada equipo tiene capacidad de generar 4.1 megavatios. Trabajando en paralelo, estos equipos son los que permiten entregar energía para el funcionamiento de las bombas BES de los pozos, energía para el trabajo de los equipos de la CPF, equipos auxiliares y energía para las bombas de reinyección y bombas de transferencia de petróleo.



**Figura 44.** Fotografía de Grupo de Generadores Eléctricos (PGP).

## **2.14. MODELACIÓN MATEMÁTICA Y SU USO EN LA TOMA DE DECISIONES**

La humanidad hace tiempo que busca, o profesa buscar, mejores maneras de realizar las tareas cotidianas de la vida. A lo largo de la historia de la humanidad, se puede observar la larga búsqueda de fuentes más efectivas de alimentos al comienzo y luego de materiales, energía y manejo del entorno físico. Sin embargo, relativamente tarde en la historia de la humanidad, comenzaron a formularse ciertas clases de preguntas generales de manera cuantitativa, primero en palabras y después en notaciones simbólicas. Un aspecto predominante de estas preguntas generales era la búsqueda de lo "mejor" o lo "óptimo". Generalmente, los gerentes buscan simplemente lograr alguna mejora en el nivel de rendimiento, es decir, un problema de "búsqueda de objetivo". Cabe destacar que estas palabras normalmente no tienen un significado preciso.

Se han realizado grandes esfuerzos por describir complejas situaciones humanas y sociales. Para tener significado, esto debería escribirse en una expresión matemática que contenga una o más variables, cuyos valores deben determinarse. La pregunta que se formula, en términos generales, es qué valores deberían tener estas variables para que la expresión matemática tenga el mayor valor numérico posible (maximización) o el menor valor numérico posible (minimización). A este proceso general de maximización o minimización se lo denomina optimización.

La optimización, también denominada programación matemática, sirve para encontrar la respuesta que proporciona el mejor resultado, la que logra mayores ganancias, mayor producción o felicidad o la que logra el menor costo, desperdicio o malestar. Con frecuencia, estos problemas implican utilizar de la manera más eficiente los recursos, tales como dinero, tiempo, maquinaria, personal, existencias, etc. Los problemas de optimización generalmente se clasifican en lineales y no lineales, según las relaciones del

problema sean lineales con respecto a las variables. Actualmente existen una serie de paquetes de software para resolver problemas de optimización entre los cuales se menciona por ejemplo los siguientes: TORA, LINDO o WinQSB que resuelven modelos de programas lineales y LINGO y What'sBest! resuelven problemas lineales y no lineales.

## **2.15. REPRESENTACIÓN POR MEDIO DE MODELOS**

La Programación Matemática, en general, aborda el problema de determinar asignaciones óptimas de recursos limitados para cumplir un objetivo dado. El objetivo debe representar la meta del decisor. Los recursos pueden corresponder, por ejemplo, a personas, materiales, dinero o terrenos. Entre todas las asignaciones de recursos admisibles, queremos encontrar las que maximizan o minimizan alguna cantidad numérica tal como ganancias o costos.

El objetivo de la optimización global es encontrar la mejor solución de modelos de decisiones difíciles, frente a las múltiples soluciones locales.

### **2.15.1 TIPOS DE MODELOS**

En la Investigación de Operaciones existen dos tipos de cálculos: aquellos en donde intervine la “simulación”, son modelos de sistemas, más difíciles de resolver, y los cálculos iterativos, que son la vía por la que se resuelven los modelos matemáticos.

### **2.15.2. IMPORTANCIA DE LOS DATOS EN LA REPRESENTACIÓN POR MODELOS**

Debido a que la recopilación de datos es realmente la parte más difícil y demorada para determinar un modelo, en el presente trabajo éstos serán obtenidos en su mayoría de los reportes semanales que son generados por el departamento de producción del Bloque 21.

## **2.15.3. FASES DE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**

### **2.15.3.1. Definición del problema.**

Esto indica tres aspectos principales:

- Una descripción de la meta o el objetivo del estudio.
- Una identificación de las alternativas de decisión del sistema.
- Un reconocimiento de las limitaciones, restricciones y requisitos del sistema.

### **2.15.3.2. Construcción del modelo.**

El modelo debe especificar expresiones cuantitativas para el objetivo y las restricciones del problema, en función de sus variables de decisión. Si el modelo se ajusta a uno de los modelos matemáticos comunes (programación lineal por ejm) puede obtenerse una solución conveniente mediante técnicas matemáticas. Si las relaciones matemáticas del modelo son demasiado complejas para permitir soluciones analíticas, puede ser mas apropiado un modelo de simulación.

### **2.15.3.3. Solución del modelo.**

En modelos matemáticos esto se logra usando técnicas de optimización bien definidas y se dice que el modelo proporciona una solución "óptima". Si se usan modelos de simulación el concepto de optimización no está tan bien definido y la solución en estos casos se emplea para obtener evaluaciones aproximadas de las medidas del sistema.

#### **2.15.3.4. Interpretación de resultados.**

Además de la solución (óptima) del modelo uno también debe asegurar, siempre que sea posible, información adicional sobre el comportamiento de la solución debida a cambios en los parámetros del sistema. Usualmente esto se conoce como “**análisis de sensibilidad**”. Tal análisis es muy necesario cuando los parámetros del sistema no pueden estimarse con exactitud. En este caso es importante estudiar el comportamiento de la solución óptima en los entornos de estas estimaciones.

### **2.16. PROGRAMACIÓN LINEAL**

La programación lineal es una herramienta poderosa para seleccionar alternativas en un problema de decisión y por consiguiente se aplica en una gran variedad de entornos de problemas. La cantidad de aplicaciones es tan alta que sería imposible enumerarlas todas.

La programación lineal muchas veces es uno de los temas preferidos tanto de profesores como de alumnos. La capacidad de introducir la PL utilizando un abordaje gráfico, la facilidad relativa del método de solución, la gran disponibilidad de paquetes de software de PL y la amplia gama de aplicaciones hacen que la PL sea accesible incluso para estudiantes con poco conocimiento de matemática. Además, la PL brinda una excelente oportunidad para presentar la idea del análisis what-if o análisis de hipótesis ya que se han desarrollado herramientas poderosas para el análisis de post optimalidad para el modelo de PL.

La Programación Lineal (PL) es un procedimiento matemático para determinar la asignación óptima de recursos escasos. La PL es un procedimiento que encuentra su aplicación práctica en casi todas las facetas de los negocios, desde la publicidad hasta la planificación de la producción. Problemas de transporte, distribución, y planificación global de la producción son los objetos más comunes del análisis de PL. La industria petrolera

parece ser el usuario más frecuente de la PL. Un gerente de procesamiento de datos de una importante empresa petrolera recientemente calculó que del 5% al 10% del tiempo de procesamiento informático de la empresa es destinado al procesamiento de modelos de PL y similares.

La programación lineal aborda una clase de problemas de programación donde tanto la función objetivo a optimizar como todas las relaciones entre las variables correspondientes a los recursos son lineales. Este problema fue formulado y resuelto por primera vez a fines de la década del 40. Rara vez una nueva técnica matemática encuentra una gama tan diversa de aplicaciones prácticas de negocios, comerciales e industriales y a la vez recibe un desarrollo teórico tan exhaustivo en un período tan corto. Hoy en día, esta teoría se aplica con éxito a problemas de presupuestos de capital, diseño de dietas, conservación de recursos, juegos de estrategias, predicción de crecimiento económico y sistemas de transporte. Recientemente la teoría de la programación lineal también contribuyó a la resolución y unificación de diversas aplicaciones.

Es importante que la persona entienda desde el comienzo que el término "programación" tiene un significado distinto cuando se refiere a Programación Lineal que cuando hablamos de Programación Informática. En el primer caso, significa planificar y organizar mientras que en el segundo caso, significa escribir las instrucciones para realizar cálculos. La capacitación en una clase de programación tiene muy poca relevancia directa con la otra clase de programación. De hecho, el término "programación lineal" se acuñó antes de que la palabra programación se relacionara con el software de computación. A veces se evita esta confusión utilizando el término optimización lineal como sinónimo de programación lineal.

Cualquier problema de PL consta de una función objetivo y un conjunto de restricciones. En la mayoría de los casos, las restricciones provienen del entorno en el cual se trabaja para lograr el objetivo. Cuando se quiere lograr el objetivo deseado, nos damos cuenta de que el entorno fija ciertas

restricciones (es decir, dificultades, limitaciones) para cumplir con el deseo (vale decir, el objetivo).

Qué es una función: una función es una cosa que hace algo. Por ejemplo, una máquina de moler café es una función que transforma los granos de café en polvo. La función (objetivo) traza, traduce el dominio de entrada (denominado región factible) en un rango de salida con dos valores finales denominados valores máximo y mínimo.

Cuando se formula un problema de toma de decisiones como un programa lineal, se deben verificar las siguientes condiciones:

1. La función objetivo debe ser lineal; vale decir que se debe verificar que todas las variables estén elevadas a la primera potencia y que sean sumadas o restadas (no divididas ni multiplicadas);
2. El objetivo debe ser ya sea la maximización o minimización de una función lineal; el objetivo debe representar la meta del decisor; y
3. Las restricciones también deben ser lineales; asimismo, la restricción debe adoptar alguna de las siguientes formas ( mayor, menor,  $=$ , es decir que las restricciones de PL siempre están cerradas).

Por ejemplo, el siguiente problema no es un problema de PL: Max X, sujeta a igual a 1. Este problema tan sencillo no tiene solución.

Como siempre, se debe tener cuidado al categorizar un problema de optimización como un problema de PL. ¿El siguiente problema es un problema de PL?

MAX  $X_2$  sujeta a:

$$X_1 + X_2 = 0$$

$$X_1^2 - 4 = 0$$

Aunque la segunda restricción parece "como si" fuera una restricción no lineal, esta restricción puede escribirse también de la siguiente forma:

$$X_1 = -2, \text{ y } X_2 = 2.$$

En consecuencia, el problema es de hecho un problema de PL.



Para la mayoría de los problemas de PL, podemos decir que existen dos tipos importantes de objetos: en primer lugar, los recursos limitados, tales como terrenos, capacidad de planta, o tamaño de la fuerza de ventas; en segundo lugar, las actividades, tales como "producir acero con bajo contenido de carbono", y "producir acero con alto contenido de carbono". Cada actividad consume o probablemente contribuye cantidades adicionales de recursos. Debe haber una función objetivo, es decir, una manera de discriminar una mala de una buena o una mejor decisión. El problema es determinar la mejor combinación de niveles de actividades, que no utilice más recursos de los disponibles. Muchos gerentes se enfrentan a esta tarea todos los días. Afortunadamente, el software de programación lineal ayuda a determinar esto cuando se ingresa un modelo bien formulado.

El método Simplex es un algoritmo de solución muy utilizado para resolver programas lineales. Un algoritmo es una serie de pasos para cumplir con una tarea determinada.

### **2.16.1 FORMA ESTÁNDAR DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

Muchas veces en las industrias de proceso, una materia prima en particular puede transformarse en una gran variedad de productos. Por ejemplo, en la industria petrolera, el crudo puede refinarse para producir nafta, kerosene, aceite para calefacciones y distintas clases de aceite para motor. Según el margen de ganancia actual de cada producto, el problema es determinar la cantidad que se debería fabricar de cada producto. Esta decisión está sujeta a numerosas restricciones tales como límites de las capacidades de diversas operaciones de refinado, disponibilidad de materia prima, demandas de cada producto y políticas gubernamentales con respecto a la fabricación de determinados productos. En la industria de productos químicos y de procesamiento de alimentos existen problemas similares.

Según **George Dantzig**, La programación lineal es estrictamente *"la teoría y la solución de sistemas lineales de desigualdad"*.

Probablemente ya se habrá notado que las soluciones básicas de un programa lineal son las soluciones de los sistemas de ecuaciones que constan de restricciones en una posición obligatoria.

Un modelo de PL puede incluir restricciones de los tipos  $\leq$ ,  $=$ ,  $\geq$ . Además, las variables pueden ser no negativas o irrestrictas en signo. Para desarrollar un método de solución general, el problema de PL debe ponerse en un formato común, al que llamamos la “forma estándar”. Las propiedades de la forma estándar son:

- Todas las restricciones son ecuaciones con los segundos miembros no negativos.
- Todas las variables son no negativas.
- La función objetivo puede ser la maximización o la minimización.

La determinación de una solución en el método simplex implica detalles iterativos tediosos de cálculo, los cuales evitaremos en el presente trabajo utilizando el software **TORA** para solución de problemas de Programación Lineal.

## **2.17. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE “TORA”**

Como se explicó al inicio, el software que utilizaremos para la resolución del problema de Programación Lineal es el llamado TORA versión 1.0 de Junio de 2002, su autor es Hamdy A. Taha, autor del libro “Investigación de Operaciones” . El software que viene como complemento del libro fue muy limitado para el desarrollo de esta tesis por lo que se buscó la versión más actualizada del mismo encontrándose el programa actualizado el año 2002 con el que se desarrolló por completo el tema.

## **CAPITULO 3.**

### **3.0. METODOLOGÍA**

#### **3.1. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO Y**

##### **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL MISMO**

En el presente capítulo se determina la función objetivo planteada para el desarrollo de esta tesis y el conjunto de restricciones existentes y se recopila la información necesaria para realizar la corrida del programa matemático de optimización lineal "TORA".

Para el desarrollo del capítulo se definen partes importantes como:

- Diagrama master de operaciones
- Datos de producción de pozos de los Pad y fuente de energía de los Pad y de Yuralpa CPF.

Luego se procede con la formulación del modelo matemático, su función objetivo y sus respectivas restricciones que se encuentran resumidas en:

- Determinación de los coeficientes de la función objetivo.
- Determinación de los precios de venta (PV) del petróleo de cada pozo.
- Determinación del costo de extracción ( $C_e$ ) de cada pozo
- Determinación del costo por equipo instalado ( $C_{eq}$ ).
- Determinación del costo por químicos inyectados ( $C_{qui}$ ).
- Determinación del costo por energía consumida ( $C_{gen}$ ).
- Consumo de energía para extracción en pozos del campo Yuralpa.

- Costo de energía de pozos por cada Pad
- Determinación del costo de transporte Petróleo de Yuralpa Bloque 21
- Costo energético de inyección de agua producida en Yuralpa Bloque 21
- Costo energético de inyección de agua producida en cada Pad
- Determinación de la ganancia neta por barril de petróleo producido en cada pozo (C).

Por último se hace un análisis de resultados al tomar una decisión aleatoria como paso previo comparativo al desarrollo del tema.

### 3.1.1. DIAGRAMA GENERAL DE OPERACIONES

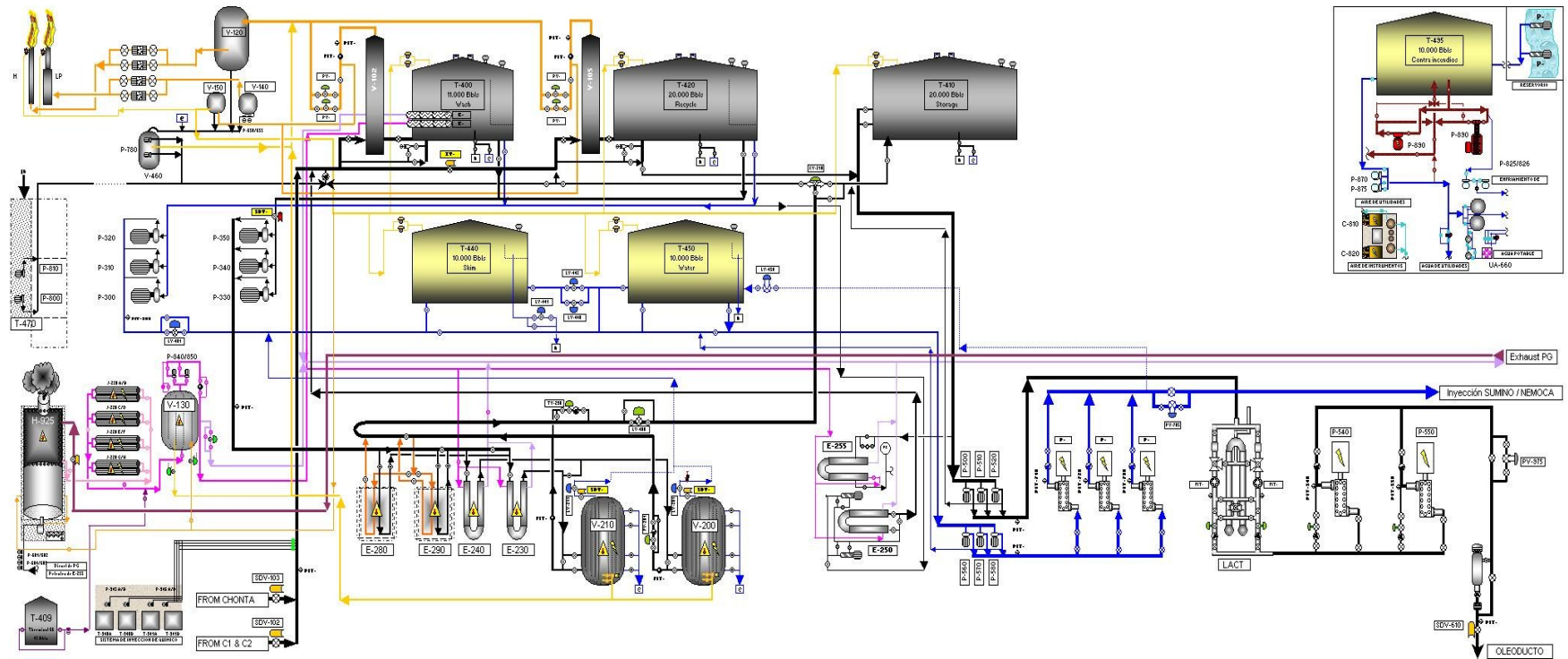


Figura 45. Diagrama General de Operaciones Bloque 21 Yuralpa.

### 3.1.2. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD A

El Pad A esta constituido de 8 pozos: YRCA-004HP, YRCA-005HP, YRCA-006HP, YRCA-007HP, YRCA-008HP, YRCA-009HP, YRCA-010HP, YRCA-011HP. El método de extracción utilizado en todos los pozos del pad A es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 2 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad A.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA PROD	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
A	YRCA-004HP	P 23	43	HI	1555	78%	5%	1213	342	950	18.2
A	YRCA-005HP	P 75	46.2	HI	6718	97%	0%P	6516	202	850	17.8
A	YRCA-006HP	GC 1150	54.8	HI	321	22%	10%	71	250	400	18.1
A	YRCA-007HP	P 18	40	HI	1755	85%	0%	1492	263	1000	17.9
A	YRCA-008HP	P 31	40	HI	2920	94%	0%	2745	175	1400	17.9
A	YRCA-009HP	P 18	41	HI	1375	94%	0%	1293	82	550	17
A	YRCA-010HP	P 11	50.5	HI	1260	88%	5%	1109	151	600	17.2
A	YRCA-011HP	P18	0	HI	0	100%	0%	0	0	250	16.5

**Tabla 2.** Pozos Productores del Pad A Bloque 21.

#### 3.1.2.1. Fuente de energía del Pad A

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megawatios El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los Pads por medio de cables de potencia

de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilowats. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad A se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la carga del motor, La Tabla 3 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (Hz)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
A	YRCA-004HP	43.0	2650	77	336	43	42	39	56%
A	YRCA-005HP	46.2	2290	81	304	36	36	34	44%
A	YRCA-006HP	54.8	2305	60	228	36	39	35	65%
A	YRCA-007HP	40.0	2119	62	221	35	34	32	56%
A	YRCA-008HP	40.0	1912	94	300	49	47	43	52%
A	YRCA-009HP	41.0	1759	75	221	38	43	40	57%
A	YRCA-010HP	50.5	2119	62	221	27	31	29	50%
A	YRCA-011HP	0.0	1875	108	336				0%

**Tabla 3.** Datos Eléctricos de Pozos Productores del Pad A Bloque 21

### 3.1.3. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD B

El Pad B está constituido de 6 pozos: YRCB-002HP, YRCB-003HP, YRCB-004S1HP, YRCB-005HP, YRCB-006HP, YRCB-007HP. El método de

extracción utilizado en todos los pozos del pad B es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 4 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad B.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
B	YRCB-002	P 11	57.5	HI	1140	83%	5%	946	194	450	18.2
B	YRCB-003	P 8	54	HI	860	87%	0%	748	112	250	16
B	YRCB-004S1	P 11	40	HI	914	71%	10%	649	265	600	17
B	YRCB-005	GC 4100	40	HI	2645	97%	0%	2566	79	600	18
B	YRCB-006	P 23	60	HI	1133	78%	0%	884	245	550	17.1
B	YRCB-007	P 31	51.5	HI	2496	90%	8%	2246	250	1000	16.8

**Tabla 4.** Pozos Productores del Pad B Bloque 21.

### 3.1.3.1. Fuente de energía del Pad B

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los Pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios.

Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad B se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la



carga del motor. La Tabla 5 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (Hz)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
B	YRCB-002HP	57.5	1900	98	304	67	63	58	68%
B	YRCB-003HP	54.0	1759	75	221	51	47	43	68%
B	YRCB-004S1HP	45.5	2193	75	275	51	49	45	68%
B	YRCB-005HP	40.0	2325	40	152	22	22	21	55%
B	YRCB-006HP	60.0	1759	75	221	51	61	55	81%
B	YRCB-007HP	51.5	1741	94	275	69	66	59	73%

**Tabla 5.** Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad B Bloque 21.

### 3.1.4. DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO CHONTA.

El pozo Chonta fue considerado inicialmente como pozo re-inyector pero debido a pruebas de producción inicial del mismo arrojó buenos resultados de producción de petróleo por lo que se decidió mantener produciendo el pozo en el transcurso del tiempo con resultados marcadamente sobrados ya que su producción se ha mantenido más o menos constante. Este es el único pozo que conforma el pad. El método de extracción utilizado en todos los pozos de los pad es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 6 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en el pozo Chonta.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
CHONTA	CHNA-001HP	P 23	50.5	HI	1669	93%	0	1552	119	600	14.1

**Tabla 6.** Pozo Productor Chonta Bloque 21.

### 3.1.4.1. Fuente de energía de Chonta

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía del pozo de Chonta se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la carga del motor, La Tabla 7 muestra los parámetros eléctricos semanales del pozo.

PAD	POZO	FREC. (Hz)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
CHONTA	CHNA-001HP	50.5	2119	62	221	156	171	170	56%

**Tabla 7.** Parámetros Eléctricos Pozo Chonta Bloque 21.

### 3.1.5. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD D

El pad D está constituido de 5 pozos: YRCD-001HP, YRCD-002HP, YRCD-003HP, YRCD-004HP, YRCD-005HP. El método de extracción utilizado en todos los pozos del pad D es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 8 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad D.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
D	YRCD-001HP	P 21	61	HI	2773	89%	7%	2468	304	950	18
D	YRCD-002HP	P 47	45	HI	2834	91%	5%	2579	254	1350	18.3
D	YRCD-003HP	P 18	45	HI	1310	83%	25%	1087	223	450	17.3
D	YRCD-004HP	P18	56	HI	237	5%	30%	11	226	300	17.3
D	YRCD-005HP	P23	40.5	HI	1484	54%	15%	801	683	1000	17.5

**Tabla 8.** Pozos Productores Del Pad D Bloque 21

### 3.1.5.1. Fuente de energía del Pad D

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad D se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la carga del motor, La Tabla 9 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (HZ)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
D	YRCD-001HP	61.0	2193	75	275	258	279	285	81%
D	YRCD-002HP	45.0	1935	105	330	172	199	186	51%
D	YRCD-003HP	45.0	2230	47	165	115	113	119	70%
D	YRCD-004HP	56.0	1875	108	336	158	150	167	45%
D	YRCD-005HP	40.5	2275	67	252	109	105	103	46%

**Tabla 9.** Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad D Bloque 21

### 3.1.6. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD E

El Pad E está constituido de 6 pozos: YRCE-001HP, YRCE-002HP, YRCE-003HP, YRCE-004HP, YRCE-005HP y YRCE-006HP. El método de extracción utilizado en todos los pozos del pad E es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 10 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad E.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbbs)	(%)	(%)	(Bbbs)	(Bbbs)	(Bbbs Netos)	
E	YRCE-001HP	P 47	50	HI	3114	85%	5%	2647	467	1800	18.3
E	YRCE-002HP	P 23	40	HI	2332	97%	0%	2262	70	1000	18.2
E	YRCE-003HP	P23	42	HI	1867	84%	5%	1568	299	1000	18.1
E	YRCE-004HP	P 21	44.9	HI	1754	84%	8%	1473	281	750	17
E	YRCE-005HP	P11	0		0	100%	0%	0		260	16.3
E	YRCE-006HP	P 18	41	HI	1507	92%	10%	1386	121	120	18

**Tabla 10.** Pozos Productores Del Pad E Bloque 21.

#### 3.1.6.1. Fuente de energía del Pad E

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad E se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la carga del motor, La Tabla 11 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (HZ)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
E	YRCE-001HP	50.0	2193	75	275	118	116	118	67%
E	YRCE-002HP	40.0	2193	75	275	63	62	64	49%
E	YRCE-003HP	42.0	2275	67	252	84	83	82	48%
E	YRCE-004HP	44.9	2193	75	275	68	67	69	59%
E	YRCE-005HP	0.0							
E	YRCE-006HP	41.0	1759	75	221	65	64	63	55%

**Tabla 11.** Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad E Bloque 21.

### 3.1.7. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD F

El pad F está constituido de 9 pozos: YRCF-001HP, YRCF-002HP, YRCF-004HP, YRCF-005HPRE, YRCF-006HP, YRCF-007HP, YRCF-008HP, YRCF-009HP y YRCF-010HP. El método de extracción utilizado en todos los pozos del pad F es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 12 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad F.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
F	YRCF-001HP	P 21	51	HI	1099	50%	20%	550	549	550	16.1
F	YRCF-002HP	P 6	43	HI	296	36%	20%	107	189	400	17
F	YRCF-004HP	P 18	43	HI	1024	57%	18%	584	440	650	17.5
F	YRCF-005HPRE	P18	40	HS	608	74%	15%	450	158	300	16.7
F	YRCF-006HP	P 21	54.5	HI	2087	92%	8%	1920	167	950	17.3
F	YRCF-007HP	P 18	40	HI	540	81%	15%	437	103	220	15.4
F	YRCF-008HP	P 18	40	HI	653	65%	5%	424	229	360	15.77
F	YRCF-009HP	P 18	40	HI	781	80%	20%	625	156		15.8
F	YRCF-010HP	P 18	40	HI	489	92%	0%	450	39	100	15.9

**Tabla 12.** Pozos Productores Del Pad F Bloque 21.

### 3.1.7.1. Fuente de energía del Pad F

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad F se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la carga del motor. La Tabla 13 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (Hz)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
F	YRCF-001HP	51.0	1912	94	300	109	109	110	69%
F	YRCF-002HP	43.0	1715	50	135	54	54	54	54%
F	YRCF-004HP	43.0	1912	94	300	114	115	116	54%
F	YRCF-005HPRE	40.0	1370	64	132	57	56	56	50%
F	YRCF-006HP	54.5	1759	75	221	67	67	68	57%
F	YRCF-007HP	40.0	2650	77	336	42	42	42	31%
F	YRCF-008HP	40.0	2275	67	252	43	42	43	33%
F	YRCF-009HP	40.0	2275	67	252	50	50	49	37%
F	YRCF-010HP	40.0	2275	67	252	51	50	50	37%

**Tabla 13.** Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad F Bloque 21.

### 3.1.8. DATOS DE PRODUCCIÓN DE POZOS DEL PAD G

El pad G está constituido de 4 pozos: YRCG-001HP, YRCG-002HP, YRCG-003HP, y YRCG-004HP. El método de extracción utilizado en todos los pozos del pad G es del tipo de bombeo eléctrico sumergible (BES).

La Tabla 14 muestra los datos de producción y el método de extracción de petróleo utilizado en los pozos del pad G.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	F. OPER.	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	TASA DNH	API
		BES	HZ		(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	(Bbls Netos)	
G	YRCG-001HP	P18	52	HI	1072	78%	12%	836	236	275	16.3
G	YRCG-002HP	P 11	50	HI	972	62%	15%	603	369	450	16.1
G	YRCG-003HP	P 23	50	HI	1152	46%	10%	530	622	650	16.6
G	YRCG-004HP	P18	40	HI	1423	58%	15%	825	598		16.1

**Tabla 14.** Pozos Productores Del Pad G Bloque 21.

#### 3.1.8.1. Fuente de energía del Pad G

El sistema de generación del Bloque 21 es centralizado. La planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WÄRTSILA con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios. El sistema centralizado distribuye la energía hacia todos los pads por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Kilovatios. Para mantener el sistema estable se mantiene en línea dos generadores; los dos restantes se encuentran como back up para uso en el caso eventual de una falla de los generadores que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio de petróleo diario de 285 barriles.

Para la determinación del consumo de energía de los pozos del pad G se requiere también conocer datos eléctricos adicionales para poder calcular la

carga del motor. La Tabla 15 muestra los parámetros eléctricos semanales de los pozos.

PAD	POZO	FREC. (Hz)	PLACA NOMINAL			CORRIENTES			CARGA MOTOR
			MOTOR			IA	IB	IC	
			VOLTS	AMPS	HP				
G	YRCG-001HP	52.0	2650	77	336	162	175	178	52%
G	YRCG-002HP	50.0	2119	62	221	136	131	139	55%
G	YRCG-003HP	50.0	2193	75	275	165	181	167	59%
G	YRCG-004HP	40.0	2133	46	165	103	106	103	52%

**Tabla 15.** Parámetros Eléctricos Pozos Productores Pad G Bloque 21.

### 3.2. FUENTES DE ENERGÍA EN YURALPA CPF

Como ya se había explicado el sistema de generación de Yuralpa es del tipo centralizado, es decir la energía necesaria para todos los equipos utilitarios con que cuenta el CPF de Yuralpa como bombas booster, bombas de transferencia de petróleo y reinyección de agua, bombas del sistema contra incendios, aire de instrumentos, sala de control, etc, es proporcionada por los cuatro generadores WÄRTSILA con que cuenta la planta de generación (PGP) del campo. La energía consumida por los equipos y el petróleo utilizado para como combustible para generación se verá más adelante.

### 3.3. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Antes de definir el modelo matemático aplicable, definiremos el problema ejemplo con el cual iniciaremos: En un día ordinario se produce una falla en el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, desde la supervisión de oleoducto nos comunican que solo se recibirán 2000 BIs de crudo en este día. Analizando el stock que tenemos en tanques, determinamos que solo podremos almacenar 5000 BIs de petróleo en nuestros campos (el potencial del campo es de 9512 BPPD), lo que nos obligará a parar pozos y/o reducir la producción de algunos. Aprovecharemos este problema para realizar mantenimiento en los equipos de reinyección de agua y por tanto máximo debo producir 24000 barriles de agua (el potencial de agua del campo es de



48653 BAPD). La pregunta será: ¿Para minimizar la pérdida para la empresa cuáles pozos debo apagar para reducir la producción a +/- 7000 BPPD y +/- 24000 BAPD ?, o lo que es lo mismo: ¿Cómo maximizo la ganancia de la empresa luego que necesariamente debo apagar pozos o reducir la producción de los mismos para ajustarnos a la restricción planteada?.

Construiremos entonces un Modelo Matemático que una vez resuelto por medio de la Programación Lineal (utilizando el software TORA), nos dé como resultado cual es la ganancia neta maximizada en US \$, y que pozos debo apagar o a cuanto reducir su producción.

El Modelo Matemático entonces cumplirá con tener condiciones de optimización dentro de una Función Objetivo que tendrá restricciones o limitaciones. Además deben existir condiciones de no negatividad.

### 3.3.1. FUNCIÓN OBJETIVO

Como su nombre lo indica, representa el objetivo fundamental del modelo matemático de programación lineal. En nuestro caso la función objetivo será: “Maximizar el precio de venta del crudo” cuando se den problemas que obliguen a parar o restringir pozos. Es decir: “Que pozos debo apagar o restringir su producción y en cuanto, para perder lo menos posible de dinero en la venta del crudo”.

Debido a que en nuestro campo tenemos 37 pozos productores, la ganancia de la empresa en la venta del crudo en un día cualquiera, vendría dada por una sencilla función:

$$\text{Ganancia total (Z)} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6 + C_7X_7 + C_8X_8 + C_9X_9 + C_{10}X_{10} + C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{14}X_{14} + C_{15}X_{15} + C_{16}X_{16} + C_{17}X_{17} + C_{18}X_{18} + C_{19}X_{19} + C_{20}X_{20} + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + C_{23}X_{23} + C_{24}X_{24} + C_{25}X_{25}$$

$$+C_{26}X_{26} + C_{27}X_{27} + C_{28}X_{28} + C_{29}X_{29} + C_{30}X_{30} + C_{31}X_{31} + C_{32}X_{32} + C_{33}X_{33} \\ +C_{34}X_{34} + C_{35}X_{35} + C_{36}X_{36} + C_{37}X_{37}$$

Donde los coeficientes C1, C2...Cn, corresponden a la ganancia neta por barril [US\$/BL] de crudo de cada pozo, es decir el precio de venta menos lo que cuesta extraer cada barril, y X1, X2...Xn, corresponden a la producción en BPPD de cada pozo.

La ganancia neta por barril de crudo de cada pozo viene dada por la siguiente ecuación:

$$C = Pv - Ce \quad (11)$$

Donde  $Pv$  = Precio de venta en mercado [US\$/BL]

$Ce$  = Costo de extracción [US\$/BL]

La función objetivo será entonces:

$$\text{Maximizar } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6 + C_7X_7 + C_8X_8 + \\ C_9X_9 + C_{10}X_{10} + C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{14}X_{14} + C_{15}X_{15} + C_{16}X_{16} + C_{17}X_{17} \\ + \dots + C_nX_n$$

Si lo que queremos determinar es cuánto debe producir cada pozo en caso de tener problemas, las incógnitas o variables serán entonces  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Debemos conocer entonces previamente cuales son los dólares por barril que gana la empresa en cada pozo ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) para poder tener lista la función objetivo del modelo matemático. En el capítulo 3 desde el subíndice 3.3.2. en adelante se procederá entonces a desarrollar la metodología para encontrar estos coeficientes.

### 3.3.1.1. Restricciones

Las restricciones para el modelo matemático serían que cada pozo no puede producir más petróleo que lo reportado en el reporte semanal de producción del campo Yuralpa. Así tenemos 37 restricciones:

$$X_1 \leq 342 \quad \text{Pozo YRCA- 004 HP}$$

**X<sub>2</sub> <= 202    Pozo YRCA- 005 HP**

**X<sub>3</sub> <= 250    Pozo YRCA- 006 HP**

**X<sub>4</sub> <= 263    Pozo YRCA- 007 HP**

**X<sub>5</sub> <= 175    Pozo YRCA- 008 HP**

**X<sub>6</sub> <= 82    Pozo YRCA- 009 HP**

**X<sub>7</sub> <= 151    Pozo YRCA- 010 HP**

**X<sub>8</sub> <= 194    Pozo YRCB- 002 HP**

**X<sub>9</sub> <= 112    Pozo YRCB- 003 HP**

**X<sub>10</sub> <= 265    Pozo YRCB- 004S1HP**

**X<sub>11</sub> <= 79    Pozo YRCB- 005 HP**

**X<sub>12</sub> <= 245    Pozo YRCB- 006 HP**

**X<sub>13</sub> <= 250    Pozo YRCB-007 HP**

**X<sub>14</sub> <= 119    Pozo Chonta**

**X<sub>15</sub> <= 304    Pozo YRCD- 001 HP**

**X<sub>16</sub> <= 254    Pozo YRCD- 002 HP**

**X<sub>17</sub> <= 223    Pozo YRCD- 003 HP**

**X<sub>18</sub> <= 226    Pozo YRCD- 004 HP**

**X<sub>19</sub> <= 683    Pozo YRCD- 0054 HP**

**X<sub>20</sub> <= 467    Pozo YRCE- 001 HP**

**X<sub>21</sub> <= 70    Pozo YRCE- 002 HP**

**X<sub>22</sub> <= 299    Pozo YRCE- 003 HP**

**X<sub>23</sub> <= 281    Pozo YRCE- 004 HP**

**X<sub>24</sub> <= 121    Pozo YRCE- 006 HP**

**X<sub>25</sub> <= 549    Pozo YRCF- 001 HP**

**X<sub>26</sub> <= 189    Pozo YRCF- 002 HP**

**X<sub>27</sub> <= 440    Pozo YRCF- 004 HP**

**X<sub>28</sub> <= 158    Pozo YRCF- 005 HPRE**

**X<sub>29</sub> <= 167    Pozo YRCF- 006 HP**

**X<sub>30</sub> <= 103    Pozo YRCF- 007 HP**

**X<sub>31</sub> <= 229    Pozo YRCF- 008 HP**

**X<sub>32</sub> <= 156    Pozo YRCF- 009 HP**

**X<sub>33</sub> <= 39    Pozo YRCF- 010 HP**

**X<sub>34</sub> <= 236    Pozo YRCG- 001 HP**

**X<sub>35</sub> <= 369    Pozo YRCG- 002 HP**

**X<sub>36</sub> <= 622    Pozo YRCG- 003 HP**

**X<sub>37</sub> <= 598    Pozo YRCG- 004 HP**

Adicionalmente a éstas debemos incluir la restricción de los barriles de petróleo que deseo producir en el momento de la emergencia, y también si tengo restricciones por problemas de reinyección de agua, cuánta agua máximo debo producir; de esta manera se agregan las dos últimas restricciones.

Para la corrida de ejemplo vamos a suponer que en un momento determinado existen problemas de bombeo en el oleoducto (SOTE) y que ésta situación nos obliga a reducir la producción hasta máximo 7000 BPPD (el potencial del campo está en 9512 BPPD). Supongamos que justo en este día tengo problemas de inyección de agua y que máximo deseo tener

240000 BAPD (el potencial de agua está en 48653 BAPD). Por tanto las dos últimas restricciones quedarían así:

Penúltima restricción: Petróleo deseado

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} = \text{BARRILES DE PETRÓLEO DESEADO}$$

La última restricción será el máximo de agua que puedo producir en ese momento:

Si multiplicamos el corte de agua de un pozo (BS&W) por la producción diaria de crudo del pozo y lo dividimos para (1- BS&W), obtendremos los barriles de agua por día que produce dicho pozo, por tanto la última restricción sería:

$$\frac{BSW_1}{(1-BSW_1)} X_1 + \frac{BSW_2}{(1-BSW_2)} X_2 + \dots + \frac{BSW_{37}}{(1-BSW_{37})} X_{37} \leq \text{BA DESEADOS}$$

Es decir para tener el modelo completo nos faltaría calcular el factor BS&W/(1-BS&W) para cada pozo e incluir estos valores en la última restricción. Estos valores se determinarán también en el punto 3.6 más adelante.

### 3.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN

#### OBJETIVO

Como se explicó anteriormente, los coeficientes C representan la ganancia neta por barril del crudo de cada pozo. Se determinó también que esta ganancia puede ser determinada por la ecuación (11).

$$C = P_v - C_e$$

La ganancia neta por barril de crudo en cada pozo (**C**) va a ser muy diferente entre ellos, debido a que los precios de venta (**Pv**) y los costos de extracción (**Ce**) son muy diferentes por las siguientes razones:

- La calidad del crudo de cada pozo es diferente, es decir existe variaciones de API de un pozo a otro. En un supuesto de que los crudos de cada pozo se vendieran por separado, los precios de venta en el mercado (**Pv**) serían muy diferentes uno de otro.
- El costo del equipo de subsuelo en cada pozo es diferente, ya que existen bombas electro sumergibles en pozos desviados y otros en pozos horizontales, por tanto dependiendo de la vida útil de los diferentes tipos de equipos en el campo y de su precio, el costo de extracción por equipo instalado en cada pozo variará.
- La cantidad de agua que produce cada pozo es diferente, es decir cada pozo tiene su BS&W, esta agua debe ser reinyectada luego al subsuelo y esto tiene su costo. Por tanto el costo por reinyección de agua producida en cada pozo variará de uno a otro.
- La distancia a que se encuentran los diferentes pozos, de la estación central desde donde se bombea el crudo hacia el Oleoducto Principal es muy diferente, sin embargo el gasto de energía y el consumo de combustible para transferir el petróleo hacia Puerto Napo será prorrateado para cada pozo y se debe considerar entonces que este costo de transporte es similar entonces para cada uno de ellos.

Queda entonces el trabajo de determinar cuáles con los precios de venta (**Pv**) y los costos de extracción (**Ce**) para cada pozo para poder calcular luego su factor **C**.

### 3.3.3. DETERMINACIÓN DE LOS PRECIOS DE VENTA (Pv) DEL PETRÓLEO DE CADA POZO

Para la venta del crudo, la medida patrón para nuestra región es el WTI, cuyo precio fluctúa de acuerdo al mercado internacional. El WTI tiene un API de 39.6 grados.

Para obtener el valor de nuestro “Crudo Oriente”, como así se conoce el crudo ecuatoriano, y al mismo que se le considera de un API de 25.4 grados, hay que restar del precio del WTI una “penalización” por calidad. Entendiéndose por calidad los grados API y el porcentaje de azufre de cada crudo. Así, mientras más grados API tiene un crudo y con un porcentaje menor de azufre es de mejor calidad. Sin embargo, el factor del que más depende la penalización es sin duda los grados API, esto debido a que el porcentaje de azufre varía ligeramente.

La penalización para el crudo oriente depende también de las buenas o malas negociaciones que realice el vendedor, ya sea el Estado Ecuatoriano o las compañías privadas directamente.

Una buena aproximación para determinar el precio de venta del crudo de un pozo tomando en cuenta su grado API es la siguiente ecuación:

$$Pv = [ P_{WTI} - ( 39.6 - API_{POZO} ) * Pe ] / 14.20 \quad (12)$$

Donde:

Pv = Precio de venta del crudo del pozo [US\$/BL]

P<sub>WTI</sub> = Precio del WTI en ese día [US\$/BL]

API = Grados API del pozo.

Pe = Penalización para el “**crudo oriente**” en ese día. [US\$/BL]

Para el ejemplo nuestro si el precio del WTI estuvo en US\$ 101.86 por barril y la penalización positiva a nuestro crudo oriente en 11.02 US\$ /BL (referencia tomada de diario EL COMERCIO “12 Empresas ofrecen pagar más por petróleo ecuatoriano,16/02/2012), entonces el valor del crudo

orientado es de 112.88US\$/BL para la fecha de cálculo, utilizando esta fórmula, podemos determinar el precio de venta (Pv) del crudo de cada pozo y los valores son presentados en la Tabla 16.

POZO	API	(Pv) (USDXBBL)
YRCA-004HP	18.2	96.27
YRCA-005HP	17.8	95.96
YRCA-006HP	18.1	96.19
YRCA-007HP	17.9	96.04
YRCA-008HP	17.9	96.04
YRCA-009HP	17	95.34
YRCA-010HP	17.2	95.50
YRCB-002HP	18.2	96.27
YRCB-003HP	16	94.57
YRCB-004S1HP	17	95.34
YRCB-005HP	18	96.12
YRCB-006HP	17.1	95.42
YRCB-007HP	16.8	95.19
CHNTA-001HP	14.1	93.09
YRCD-001HP	18	96.12
YRCD-002HP	18.3	96.35
YRCD-003HP	17.3	95.57
YRCD-004HP	17.3	95.57
YRCD-005HP	17.5	95.73
YRCE-001HP	18.3	96.35
YRCE-002HP	18.2	96.27
YRCE-003HP	18.1	96.19
YRCE-004HP	17	95.34
YRCE-006HP	18	96.12
YRCF-001HP	16.1	94.64
YRCF-002HP	17	95.34
YRCF-004HP	17.5	95.73
YRCF-005HPRE	16.7	95.11
YRCF-006HP	17.3	95.57
YRCF-007HP	15.4	94.10
YRCF-008HP	15.77	94.39
YRCF-009HP	15.8	94.41
YRCF-010HP	15.9	94.49
YRCG-001HP	16.3	94.80
YRCG-002HP	16.1	94.64
YRCG-003HP	16.6	95.03
YRCG-004HP	16.1	94.64

**Tabla 16.** Precio de Venta del Crudo de los Pozos del Campo Yuralpa

Bloque 21.



### 3.3.4. DETERMINACIÓN DEL COSTO DE EXTRACCIÓN ( $C_e$ ) DE CADA POZO

El costo de extracción ( $C_e$ ) para cada pozo viene dado por:

$$C_e = C_{eq} + C_{eng} + C_{qui} \quad (13)$$

Donde:  $C_e$  = Costo de extracción [US\$/Bbl]

$C_{eq}$  = Costo por equipo instalado [US\$/Bbl]

$C_{eng}$  = Costo por energía consumida [US\$/Bbl]

$C_{qui}$  = Costo por químicos inyectados [US\$/Bbl]

El cálculo de cada uno de estos costos se detalla en los siguientes puntos.

### 3.3.5. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR EQUIPO INSTALADO ( $C_{eq}$ )

El costo de extracción de cada pozo por equipo instalado en un pozo viene dado por la ecuación:

$$C_{eq} = Pr / (MTBF * BPPD) \quad (14)$$

Dónde:  $C_{eq}$  = Costo por equipo instalado [US\$/BL]

$Pr$  = Precio del equipo instalado [US\$]

$MTBF$  = Tiempo promedio antes de falla [días]

$BPPD$  = Barriles de petróleo por día que produce el pozo.

### **3.3.6. DETERMINACIÓN DEL MTBF DE LOS EQUIPOS DE FONDO DE POZO**

Es necesario estimar el tiempo de vida que tienen los equipos de fondo de pozo para poder tener el tiempo de depreciación de los mismos. Para ello nos serviremos de una macro programada de la Cia. Baker Hughes, que calcula el MTBF utilizando el método estadístico propuesto por Lastra. El método utiliza toda la información disponible de los equipos de fondo, incluso aquellas ocasiones en que los pullings se realizaron no por causa de falla de la bomba de subsuelo.

Para hallar el MTBF, la hoja con el nombre "DATA" debe contener la información de las bombas de subsuelo de la siguiente manera:

En la columna llamada TIEMPO debe contener el tiempo de operación en días de cada equipo hasta la fecha. En la columna llamada ESTADO deben aparecer los valores 0 o 1. Donde 1 significa que la bomba fallo y 0 significa que los datos de la columna TIEMPO están censurados. Un tiempo de operación es censurado por dos razones: primero, si la causa del PU no fue por falla de la bomba de subsuelo, sino otra causa (Ej.: rediseño, WO, falla en tubing, etc), o segundo, la bomba continúa trabajando aún al momento de realizar este análisis. No se admiten espacios en blanco en la columna ESTADO como se registra en la Tabla 17.

Una vez que los datos son ingresados en la hoja DATA, se puede correr la macro presionando el botón "CALCULATE MTBF".

Iniciaremos calculando el MTBF de los equipos BES. Los pozos que tienen instalados equipos de bombeo electro sumergible son: YRCA-004 HP, YRCA-005 HP, YRCA-006 HP, YRCA-007 HP YRCA-008 HP, YRCA-009 HP, YRCA-010 HP. YRCB-002 HP, YRCB-003 HP, YRCB-004 S1HP, YRCB-005HP, YRCB-006 HP, YRCB-007 HP, CHNA-001 HP, YRCD-001 HP, YRCD-002 HP, YRCD-003 HP, YRCD-004 HP, YRCD-005 HP, YRCE-001 HP, YRCE-002 HP, YRCE-003 HP, YRCE-004 HP, YRCE-006 HP,

YRCF-001 HP, YRCF-002 HP, YRCF-004 HP, YRCF-005 HP RE, YRCF-006 HP, YRCF-007 HP, YRCF-008 HP, YRCF-009 HP, YRCF- 010 HP, YRCG-001 HP, YRCG-002 HP, YRCG-003 HP y YRCG-004 HP.

La hoja DATA se muestra en la Tabla 17 y la hoja de cálculo que genera la macro se muestra en la Tabla 18.

El gráfico representado en la figura 46 muestra el valor promedio del MTBF calculado. Como se puede apreciar, el tiempo promedio antes de falla de los equipos BES en el campo de esta empresa es de 1972 días.

INST No	DATA		POZO	FECHA ARRANQUE	FECHA CIERRE PARA CALCULO
	TIEMPO	ESTADO			
3	329	1	YRCA-004HP	18-abr-11	01-mar-12
2	1827	0	YRCA-005HP	12-mar-07	01-mar-12
1	2655	0	YRCA-006HP	04-dic-04	01-mar-12
2	529	0	YRCA-007HP	30-sep-10	01-mar-12
1	2445	0	YRCA-008HP	02-jul-05	01-mar-12
3	572	0	YRCA-009HP	18-ago-10	01-mar-12
2	1685	0	YRCA-010HP	01-ago-07	01-mar-12
1	2274	0	YRCB-002HP	20-dic-05	01-mar-12
4	804	0	YRCB-003HP	29-dic-09	01-mar-12
5	1345	0	YRCB-004S1HP	06-jul-08	01-mar-12
2	2006	0	YRCB-005HP	14-sep-06	01-mar-12
2	547	1	YRCB-006HP	12-sep-10	01-mar-12
1	2107	0	YRCB-007HP	05-jun-06	01-mar-12
3	1834	0	CHNTA-001HP	05-mar-07	01-mar-12
3	2003	0	YRCD-001HP	17-sep-06	01-mar-12
2	293	0	YRCD-002HP	24-may-11	01-mar-12
2	314	0	YRCD-003HP	03-may-11	01-mar-12
1	200	0	YRCD-004HP	25-ago-11	01-mar-12
1	140	0	YRCD-005HP	24-oct-11	01-mar-12
2	583	1	YRCE-001HP	07-ago-10	01-mar-12
2	740	0	YRCE-002HP	03-mar-10	01-mar-12
1	36	1	YRCE-003HP	05-feb-12	01-mar-12
2	2002	0	YRCE-004HP	18-sep-06	01-mar-12
2	557	0	YRCE-006HP	02-sep-10	01-mar-12
6	2086	0	YRCF-001HP	26-jun-06	01-mar-12
4	29	0	YRCF-002HP	12-feb-12	01-mar-12
1	760	0	YRCF-004HP	11-feb-10	01-mar-12
1	275	0	YRCF-005HPRE	11-jun-11	01-mar-12
1	2279	0	YRCF-006HP	15-dic-05	01-mar-12
1	212	0	YRCF-007HP	13-ago-11	01-mar-12
1	362	0	YRCF-008HP	16-mar-11	01-mar-12
1	334	0	YRCF-009HP	13-abr-11	01-mar-12
1	309	0	YRCF-010HP	08-may-11	01-mar-12
3	258	0	YRCG-001HP	28-jun-11	01-mar-12
2	1355	0	YRCG-002HP	26-jun-08	01-mar-12
1	1857	0	YRCG-003HP	10-feb-07	01-mar-12
1	89	0	YRCG-004HP	14-dic-11	01-mar-12

**Tabla 17.** Data MTBF Bombas Electro sumergibles.

**TABLA 18. CÁLCULOS MTBF BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLES**

**SUMMARY**

	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11	31-Jan-12	29-Feb-12
ESP RUN	65	68	69	71	70	74	76	78	76	78	77	80
DIAS RUN	57821	58104	53967	52734	52557	53255	55508	57899	58088	59414	59122	60002
ESP SACADOS (12 MESES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	12	15	15	15	19	18	17	17	19	19	19	20
DIAS SACADOS(12 MESES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	14501	21108	22742	24148	26328	23031	20887	20887	21128	21128	20944	24711
FALLAS DIRECTAS(12 MESES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FALLAS INDIRECTAS(12 MESES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	12	15	15	15	19	18	17	17	19	19	19	20
ESP SACADOS (1 MES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	0,00	3,00	2,00	2,00	4,00	2,00	1,00	0,00	3,00	0,00	1,00	2,00
FALLAS DIRECTAS(1 MES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FALLAS INDIRECTAS(1 MES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	0	3	2	2	4	2	1	0	3	0	1	2
FALLAS TOTALES(12 MESES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	12	15	15	15	19	18	17	17	19	19	19	20
FALLAS TOTALES(1 MES ANTES DE LA FECHA DE CALCULO)	0	3	2	2	4	2	1	0	3	0	1	2
MTBF - LASTRA	1930	1942	1947	1954	1962	1970	1975	1983	1992	1999	2003	2010
RUNNING AVERAGE	889,6	854,5	782,1	742,7	750,8	719,7	730,4	742,3	764,3	761,7	767,8	750,0
PULLING INDEX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PULLING AVERAGE	1208,4	1407,2	1516,1	1609,9	1385,7	1279,5	1228,6	1228,6	1112,0	1112,0	1102,3	1235,6
DIRECT - FAILURE INDEX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INDIRECT - FAILURE INDEX	0,185	0,221	0,217	0,211	0,271	0,243	0,224	0,218	0,250	0,244	0,247	0,250
TOTAL- FAILURE INDEX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 18.** Cálculo de MTBF realizado en programa de Baker Hughes para las Bombas Electro Sumergibles del B7-21.

# DIAGRAMA DEL MTBF DE LAS BOMBAS ELECTRO SUMERGIBLES CENTRILIFT

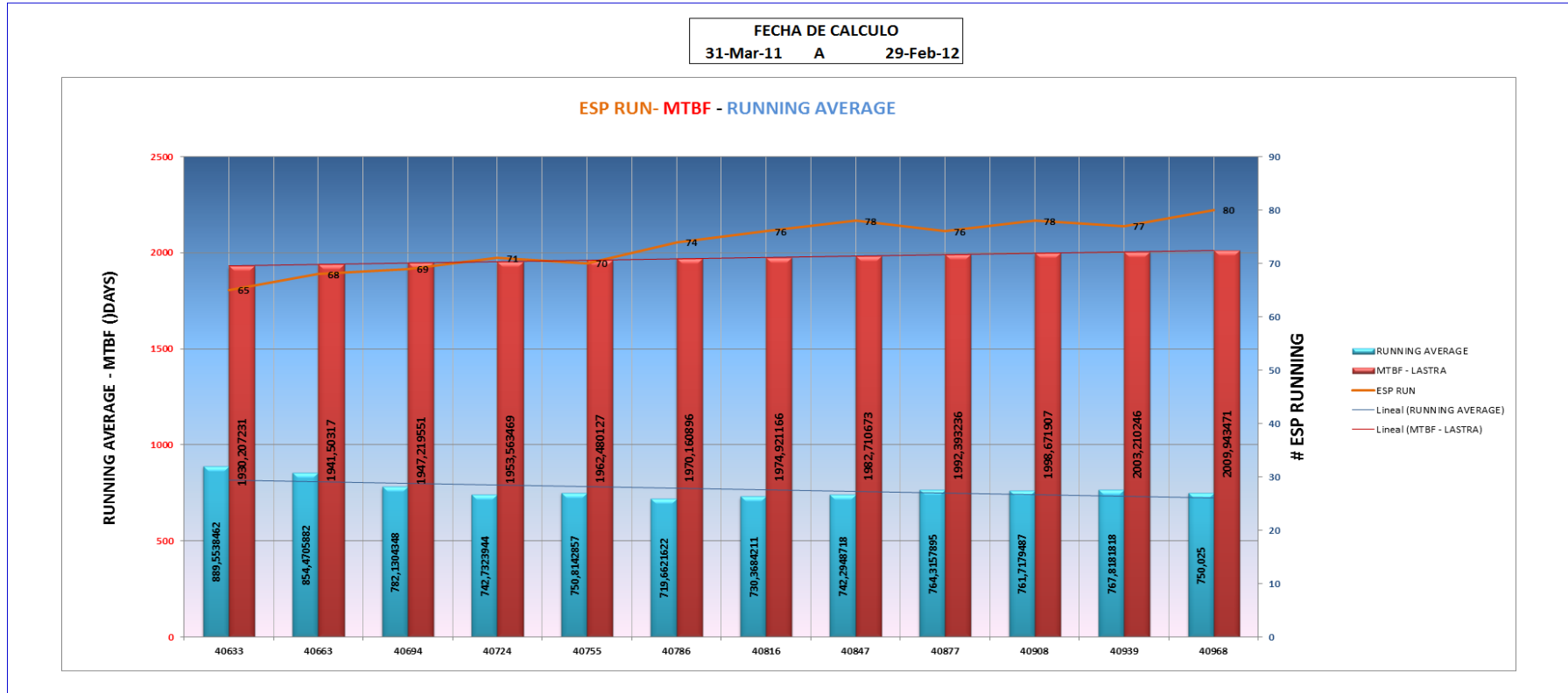


Figura 46. Gráfico de barras del promedio del MTBF de las B.E.S. Centrilift (1972 días). Tomado de reporte Baker Hughes.

El Costo por desgaste del equipo de fondo lo realizaremos tomando en cuenta el MTBF (tiempo promedio antes de la falla) de los equipos instalados.

### 3.3.6.1. Costo de equipo instalado por barril levantado

Como se determinó en el sub capítulo 3.3.6. el MTBF de los equipos BES en todo el campo es de 1972 días. El costo de los equipos BES varía de acuerdo a la potencia del equipo instalado y al fabricante del mismo.

Entonces podemos determinar la tabla 19 en donde básicamente se calcula “el costo por barril levantado” en los pozos BES por concepto de depreciación de equipo instalado.

POZO	API	BPPD (Bbls)	COSTO EQUIPO (USD\$)	MTBF (DÍAS)	(Ce) US\$BBL
YRCA-004HP	18,2	342	330000	1972	0,49
YRCA-005HP	17,8	202	330000	1972	0,83
YRCA-006HP	18,1	250	330000	1972	0,67
YRCA-007HP	17,9	263	330000	1972	0,64
YRCA-008HP	17,9	175	330000	1972	0,96
YRCA-009HP	17	82	330000	1972	2,04
YRCA-010HP	17,2	151	330000	1972	1,11
YRCB-002HP	18,2	194	330000	1972	0,86
YRCB-003HP	16	112	330000	1972	1,49
YRCB-004S1HP	17	265	330000	1972	0,63
YRCB-005HP	18	79	330000	1972	2,12
YRCB-006HP	17,1	245	330000	1972	0,68
YRCB-007HP	16,8	250	330000	1972	0,67
CHNTA-001HP	14,1	119	330000	1972	1,41
YRCD-001HP	18	304	330000	1972	0,55
YRCD-002HP	18,3	254	330000	1972	0,66
YRCD-003HP	17,3	223	330000	1972	0,75
YRCD-004HP	17,3	226	129046	1972	0,29
YRCD-005HP	17,5	683	334129	1972	0,25
YRCE-001HP	18,3	467	330000	1972	0,36
YRCE-002HP	18,2	70	330000	1972	2,39
YRCE-003HP	18,1	299	176427	1972	0,30
YRCE-004HP	17	281	330000	1972	0,60

POZO	API	BPPD (Bbls)	COSTO EQUIPO (USD\$)	MTBF (DÍAS)	(Ce) US\$BBL
YRCE-006HP	18	121	330000	1972	1,38
YRCF-001HP	16,1	549	330000	1972	0,30
YRCF-002HP	17	189	216144	1972	0,58
YRCF-004HP	17,5	440	330000	1972	0,38
YRCF-005HPRE	16,7	158	330000	1972	1,06
YRCF-006HP	17,3	167	330000	1972	1,00
YRCF-007HP	15,4	103	330000	1972	1,62
YRCF-008HP	15,77	229	330000	1972	0,73
YRCF-009HP	15,8	156	330000	1972	1,07
YRCF-010HP	15,9	39	330000	1972	4,29
YRCG-001HP	16,3	236	330000	1972	0,71
YRCG-002HP	16,1	369	330000	1972	0,45
YRCG-003HP	16,6	622	330000	1972	0,27
YRCG-004HP	16,1	598	342218	1972	0,29

**Tabla 19.** Costo por Barril Levantado por Depreciación de Equipos instalados (Ce).

### 3.3.7. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR QUÍMICOS INYECTADOS (C<sub>qui</sub>).

Como se vio en el capítulo 2, en los pozos es necesario inyectar Demulsificante, Anti escala, Inhibidor de Corrosión.

El costo por químicos inyectados es igual a:

$$C_{qui} = C_{dmo} + C_{antiescala} + C_{inh. corrosión} \quad (15)$$

Donde: C<sub>qui</sub> = Costo por inyección de químicos (US\$/Bbl)

C<sub>dmo</sub> = Costo por inyección de Demulsificante(US\$/Bbl)

C<sub>antiescala</sub> = Costo por inyección de antiescala ([US\$/Bbl)

C<sub>inh. corr</sub> = Costo por inyección de inhibidor de corrosión.  
(US\$/Bbl)

A continuación en la Tabla 20 presentamos las dosificaciones de químicos en los diferentes pozos, su costo y al final de la tabla el costo por barril tratado de petróleo en cada uno.



**Tabla 20. Determinación del Costo de Químico por Pozo.**

POZO	F. OPER.	TIPO LEVANTAMIENTO	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	API	SALINIDAD	DEMULSIF.	CONC.	USD/BBL	INHIBIDOR CORROSION	CONC.	USD/BBL	ANTIESCALA	CONC.	USD/BBL	ANTIESPUMANTE	CONC.	USD/BBL	CLARIFICANTE	CONC.	USD/BBL	BIOCIDA XC14350	CONC.	USD/BBL	BIOCIDA XC14330	CONC.	USD/BBL	TOTAL
YRCA-004HP	43	BE	1555	78%	5%	1213	342	18,2	18,2	1,1	77	0,05			0			0	0,324	23	0,01	1,67	32	0,03	4,32	85	0,06	2,16	42	0,04	0,19
YRCA-005HP	46,2	BE	6718	97%	0%	6516	202	17,8	17,8	1,1	130	0,08			0			0	0,324	38	0,03	1,67	6	0,00	4,32	16	0,01	2,16	8	0,01	0,13
YRCA-006HP	54,8	BE	321	22%	10%	71	250	18,1	18,1	1,1	105	0,06			0			0	0,324	31	0,02	1,67	552	0,44	4,32	1450	1,09	2,16	724	0,68	2,29
YRCA-007HP	40	BE	1755	85%	0%	1492	263	17,9	17,9	1,1	100	0,06			0			0	0,324	29	0,02	1,67	26	0,02	4,32	69	0,05	2,16	34	0,03	0,18
YRCA-008HP	40	BE	2920	94%	0%	2745	175	17,9	17,9	1,1	150	0,09			0			0	0,324	44	0,03	1,67	14	0,01	4,32	38	0,03	2,16	19	0,02	0,17
YRCA-009HP	41	BE	1375	94%	0%	1293	82	17	17	1,1	319	0,19			0			0	0,324	94	0,06	1,67	30	0,02	4,32	80	0,06	2,16	40	0,04	0,37
YRCA-010HP	50,5	BE	1280	88%	5%	1109	151	17,2	17,2	1,1	173	0,10			0			0	0,324	51	0,03	1,67	35	0,03	4,32	93	0,07	2,16	46	0,04	0,28
YRCB-002HP	57,5	BE	1140	83%	5%	946	194	18,2	18,2	0,83	102	0,06	1,5	38	0,02			0	0,324	40	0,03	1,67	41	0,03	4,32	109	0,08	2,16	54	0,05	0,28
YRCB-003HP	54	BE	860	87%	0%	748	112	16	16	0,83	176	0,10	1,5	48	0,03			0	0,324	69	0,05	1,67	52	0,04	4,32	138	0,10	2,16	69	0,06	0,39
YRCB-00451HP	40	BE	914	71%	10%	649	265	17	17	0,83	75	0,04	1,5	55	0,03			0	0,324	29	0,02	1,67	60	0,05	4,32	169	0,12	2,16	79	0,07	0,34
YRCB-005HP	40	BE	2645	97%	0%	2566	79	18	18	0,83	250	0,15	1,5	14	0,01			0	0,324	98	0,06	1,67	15	0,01	4,32	40	0,03	2,16	20	0,02	0,28
YRCB-006HP	60	BE	1133	78%	0%	884	245	17,1	17,1	0,83	81	0,05	1,5	40	0,03			0	0,324	32	0,02	1,67	44	0,04	4,32	116	0,09	2,16	58	0,05	0,27
YRCB-007HP	51,5	BE	2496	90%	8%	2246	250	16,8	16,8	0,83	79	0,05	1,5	16	0,01			0	0,324	31	0,02	1,67	17	0,01	4,32	46	0,03	2,16	23	0,02	0,15
CHNA-001HP	50,5	BE	1669	93%	0	1552	119	14,1	14,1	0	0	0,00			0			0	0,324	65	0,04	1,67	25	0,02	4,32	66	0,05	2,16	33	0,03	0,14
YRCD-001HP	61	BE	2773	89%	7%	2468	304	18	18	0,2	16	0,01			0			0	0,324	25	0,02	1,67	16	0,01	4,32	42	0,03	2,16	21	0,02	0,09
YRCD-002HP	45	BE	2834	91%	5%	2579	254	18,3	18,3	0,2	19	0,01			0			0	0,324	30	0,02	1,67	15	0,01	4,32	40	0,03	2,16	20	0,02	0,09
YRCD-003HP	45	BE	1310	83%	25%	1087	223	17,3	17,3	0,2	21	0,01			0			0	0,324	35	0,02	1,67	36	0,03	4,32	95	0,07	2,16	47	0,04	0,18
YRCD-004HP	56	BE	237	5%	30%	11	226	17,3	17,3	0,2	21	0,01			0			0	0,324	34	0,02	1,67	35665	2,84	4,32	9369	7,02	2,16	4675	4,37	14,26
YRCD-005HP	40,5	BE	1484	54%	15%	801	683	17,5	17,5	0,2	7	0,00			0			0	0,324	11	0,01	1,67	49	0,04	4,32	129	0,10	2,16	64	0,06	0,21
YRCE-001HP	50	BE	3114	85%	5%	2647	467	18,3	18,3	0,8	41	0,02			0			0	0,324	17	0,01	1,67	15	0,01	4,32	39	0,03	2,16	19	0,02	0,09
YRCE-002HP	40	BE	2332	97%	0%	2262	70	18,2	18,2	0,8	272	0,16			0			0	0,324	110	0,07	1,67	17	0,01	4,32	46	0,03	2,16	23	0,02	0,30
YRCE-003HP	42	BE	1867	84%	5%	1568	299	18,1	18,1	0,8	64	0,04			0			0	0,324	26	0,02	1,67	25	0,02	4,32	66	0,05	2,16	33	0,03	0,15
YRCE-004HP	44,9	BE	1754	84%	8%	1473	281	17	17	0,8	68	0,04			0			0	0,324	28	0,02	1,67	27	0,02	4,32	70	0,05	2,16	35	0,03	0,16
YRCE-006HP	41	BE	1507	92%	10%	1386	121	18	18	0,8	157	0,09			0			0	0,324	64	0,04	1,67	28	0,02	4,32	74	0,06	2,16	37	0,03	0,25
YRCF-001HP	51	BE	1099	50%	20%	550	549	16,1	16,1	2,3	100	0,06			0	1,22	53	0,03	0,324	14	0,01	1,67	71	0,06	4,32	187	0,14	2,16	94	0,09	0,39
YRCF-002HP	43	BE	296	36%	20%	107	189	17	17	2,3	290	0,17			0	1,22	271	0,17	0,324	41	0,03	1,67	366	0,29	4,32	962	0,72	2,16	481	0,45	1,83
YRCF-004HP	43	BE	1024	57%	18%	584	440	17,5	17,5	2,3	124	0,07			0	1,22	50	0,03	0,324	18	0,01	1,67	67	0,05	4,32	176	0,13	2,16	88	0,08	0,38
YRCF-005HPRE	40	BE	608	74%	19%	450	158	16,7	16,7	2,3	347	0,21			0	1,22	65	0,04	0,324	49	0,03	1,67	87	0,07	4,32	229	0,17	2,16	114	0,11	0,63
YRCF-006HP	54,5	BE	2087	92%	8%	1920	167	17,3	17,3	2,3	328	0,19			0	1,22	15	0,01	0,324	46	0,03	1,67	20	0,02	4,32	54	0,04	2,16	27	0,03	0,32
YRCF-007HP	40	BE	540	81%	15%	437	103	15,4	15,4	2,3	532	0,32			0	1,22	66	0,04	0,324	75	0,05	1,67	90	0,07	4,32	236	0,18	2,16	118	0,11	0,76
YRCF-008HP	40	BE	653	65%	5%	424	229	15,77	15,77	2,3	239	0,14			0	1,22	69	0,04	0,324	34	0,02	1,67	92	0,07	4,32	243	0,18	2,16	121	0,11	0,58
YRCF-009HP	40	BE	781	80%	20%	625	156	15,8	15,8	2,3	351	0,21			0	1,22	46	0,03	0,324	50	0,03	1,67	63	0,05	4,32	165	0,12	2,16	82	0,08	0,52
YRCF-010HP	40	BE	489	92%	0%	450	39	15,9	15,9	2,3	1404	0,83			0	1,22	65	0,04	0,324	198	0,13	1,67	87	0,07	4,32	229	0,17	2,16	114	0,11	1,35
YRCG-001HP	52	BE	1072	78%	12%	836	236	16,3	16,3	1,5	151	0,09			0			0	0,324	33	0,02	1,67	47	0,04	4,32	123	0,09	2,16	62	0,06	0,30
YRCG-002HP	50	BE	972	62%	15%	603	369	16,1	16,1	1,5	97	0,06			0			0	0,324	21	0,01	1,67	65	0,05	4,32	171	0,13	2,16	85	0,08	0,33
YRCG-003HP	50	BE	1152	46%	10%	530	622	16,6	16,6	1,5	57	0,03			0			0	0,324	12	0,01	1,67	74	0,06	4,32	194	0,15	2,16	97	0,09	0,34
YRCG-004HP	40	BE	1423	58%	15%	825	598	16,1	16,1	1,5	60	0,04			0			0	0,324	13	0,01	1,67	48	0,04	4,32	125	0,09	2,16	62	0,06	0,23

COSTO DE GALÓN DE DEMULSIFICANTE:			14,16
COSTO DE GALÓN DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN:			14,85
COSTO DE GALÓN DE ANTIESCALA:			14,74
COSTO DE GALÓN DE ANTIESPUMANTE:			15,65
COSTO DE GALÓN DE CLARIFICANTE:			18,69
COSTO DE GALÓN DE BIOCIDAXC 14350			17,86
COSTO DE GALÓN DE BIOCIDA XC14330			22,25

### **3.4. DETERMINACIÓN DEL COSTO POR ENERGÍA**

#### **CONSUMIDA $C_{eng}$**

En esta sección determinaremos cuanto consume de energía cada equipo, así se calculará el costo por barril de petróleo levantado por concepto de consumo de energía.

Se determinará también el consumo de combustible para transportar el petróleo de los pozos a exportación. Este costo adicional debe ser sumado al costo de extracción de crudo en estos pozos.

#### **3.4.1. CONSUMO DE ENERGÍA PARA LA EXTRACCIÓN EN POZOS DEL CAMPO YURALPA**

Como se había indicado, la planta de generación ubicada en la PGP consta de cuatro generadores WARTSILÄ con capacidad nominal para generar 4.2 Megavatios.

La distribución de la energía hacia todos los pads se realiza por medio de cables de potencia de 13.8 KVA. El consumo promedio de energía del campo es de 7800 Megavatios. Para mantener el sistema estable se tiene en línea normalmente dos generadores; los dos restantes se encuentran en stand by para uso en el caso eventual de una falla de los generadores en que se encuentran en línea. Los generadores utilizan como combustible una cantidad promedio total de petróleo diario de 290 barriles. (Consumo promedio mes de Enero 2012).

### 3.4.2. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD A

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril o 2.27 USD por galón.

<b>CONSUMO PROMEDIO DE GENERACIÓN CENTRALIZADA:</b>	<b>12180</b>	<b>GLS/DÍA</b>
<b>COSTO DE GALON DE PETRÓLEO</b>	<b>2.27</b>	<b>USD</b>

**Tabla 21.** Consumo promedio diario de petróleo para generación en el Bloque 21.

Entonces tenemos el valor del costo de energía para cada pozo y el total para el pad A según se resume en la tabla 22.

PAD	POZO	ZONA PROD	BFPD	B&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	U\$BB L
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
A	YRCA-004HP	HI	1555	78%	5%	1213	342	336	55.84%	187.62	18.97	156.32	8.45
A	YRCA-005HP	HI	6718	97%	0%	6516	202	304	44.44%	135.10	13.66	112.56	6.08
A	YRCA-006HP	HI	321	22%	10%	71	250	228	65.00%	148.20	14.98	123.44	6.67
A	YRCA-007HP	HI	1755	85%	0%	1492	263	221	56.45%	124.75	12.61	103.91	5.62
A	YRCA-008HP	HI	2920	94%	0%	2745	175	300	52.13%	156.39	15.81	130.28	7.04
A	YRCA-009HP	HI	1375	94%	0%	1293	82	221	57.33%	126.70	12.81	105.56	5.71
A	YRCA-010HP	HI	1260	88%	5%	1109	151	221	50.00%	110.50	11.17	92.05	4.98
A	YRCA-011HP	HI	0	100%	0%	0	0			0.00	0.00	0.00	0.00
									<b>TOTAL</b>	989.26	100	824.12	

**Tabla 22.** Costo Energético de Extracción PAD A

### 3.4.3. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD B

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril o 2.27 USD por galón, entonces tenemos el valor del costo de energía para cada pozo y el total del pad B según se resume en la tabla 23.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
			(Bbbs)	(%)	(%)	(Bbbs)	(Bbbs)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
B	YRCB-002HP	HI	1140	83%	5%	946	194	304	68,37%	207,84	20,57	145,31	7,85
B	YRCB-003HP	HI	860	87%	0%	748	112	221	68,00%	150,28	14,87	105,05	5,68
B	RCB-004S1H	HI	914	71%	10%	649	265	275	68,00%	187,00	18,51	130,76	7,07
B	YRCB-005HP	HI	2645	97%	0%	2566	79	152	55,00%	83,60	8,27	58,42	3,16
B	YRCB-006HP	HI	1133	78%	0%	884	245	221	81,33%	179,74	17,79	125,68	6,79
B	YRCB-007HP	HI	2496	90%	8%	2246	250	275	73,40%	201,85	19,97	141,08	7,63
									TOTAL	1010,31	100	706,30	

**Tabla 23.** Costo Energético de Extracción Pad B.

### 3.4.4. COSTO DE ENERGÍA POZO CHONTA

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril, ó, 2.27 USD por galón; entonces tenemos el valor del costo de energía para el pozo Chonta según se resume en la tabla 24.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
			(Bbbs)	(%)	(%)	(Bbbs)	(Bbbs)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
CHONTA	CHNA-001HP	HI	1669	93%	0	1532	119	221	47,76%	105,55	100	117,6	6,356
									TOTAL	105,55	100	117,6	

**Tabla 24.** Costo Energético de Extracción Pozo Chonta.

### 3.4.5. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD D

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril, ó 2.27 USD por galón; entonces tenemos el valor del costo de energía para cada pozo y el total del pad D según se resume en la tabla 25.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
		BE5	(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
D	YRCD-001HP	P 21	2773	89%	7%	2468	304	275	81.33%	223.66	28.74	169.23	9.15
D	YRCD-002HP	P 47	2834	91%	5%	2579	254	330	51.43%	169.72	21.81	128.43	6.94
D	YRCD-003HP	P 18	1310	83%	25%	1087	223	165	70.21%	115.85	14.89	87.68	4.74
D	YRCD-004HP	P18	237	5%	30%	11	226	336	45.37%	152.44	19.59	115.35	6.23
D	YRCD-005HP	P23	1484	54%	15%	801	683	252	46.27%	116.60	14.98	88.21	4.77
TOTAL										778.27	100	588.90	

Tabla 25. Costo Energético de Extracción Pad D.

### 3.4.6. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD E

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril, entonces tenemos el valor del costo de energía para el cada pozo y el total del pad E según se resume en la tabla 26.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
E	YRCE-001HP	HI	3114	85%	5%	2647	467	275	66.67%	183.34	25.48	150.03	8.11
E	YRCE-002HP	HI	2332	97%	0%	2262	70	275	49.33%	135.66	18.80	110.71	5.98
E	YRCE-003HP	HI	1867	84%	5%	1568	299	252	47.76%	120.36	16.68	98.23	5.31
E	YRCE-004HP	HI	1754	84%	8%	1473	281	275	58.67%	161.34	22.36	131.67	7.12
E	YRCE-005HP		0	100%	0%	0				0.00	0.00	0.00	0.00
E	YRCE-006HP	HI	1507	92%	10%	1386	121	221	54.67%	120.82	16.75	98.60	5.33
TOTAL										721.52	100	589.25	

Tabla 26. Costo Energético de Extracción Pad E

### 3.4.7. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD F

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril, ó, 2.27 USD por galón; entonces tenemos el valor del costo de energía para cada pozo y el total del pad F según se resume en la tabla 27.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
F	YRCF-001HP	HI	1099	50%	20%	550	549	300	69.15%	207.45	20.44	61.87	3.34
F	YRCF-002HP	HI	296	36%	20%	107	189	135	54.00%	72.90	7.18	21.74	1.18
F	YRCF-004HP	HI	1024	57%	18%	584	440	300	54.26%	162.78	16.04	48.55	2.62
F	YRCF-005HPR	HS	608	74%	15%	450	158	132	50.00%	66.00	6.50	19.68	1.06
F	YRCF-006HP	HI	2087	92%	8%	1920	167	221	57.33%	126.70	12.48	37.79	2.04
F	YRCF-007HP	HI	540	81%	15%	437	103	336	31.17%	104.73	10.32	31.24	1.69
F	YRCF-008HP	HI	653	65%	5%	424	229	252	32.84%	82.76	8.15	24.68	1.33
F	YRCF-009HP	HI	781	80%	20%	625	156	252	37.31%	94.02	9.26	28.04	1.52
F	YRCF-010HP	HI	489	92%	0%	450	39	252	38.81%	97.80	9.63	29.17	1.58
TOTAL										1015.14	100	302.76	

Tabla 27. Costo Energético de Extracción Pad F.

### 3.4.8. COSTO DE ENERGÍA POZOS PAD G

Si consideramos que el costo del petróleo utilizado en generación es de 95.34 USD por barril, ó, 2.27 USD por galón; entonces tenemos el valor del costo de energía para cada pozo y el total del pad G según se resume en la tabla 28 para cada pozo.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	POTENCIA	CARGA MOTOR	CONSUMO	% DEL TOTAL	CONSUMO DE PETRÓLEO	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	HP	(%)	HP	(%)	GLNS/DÍA	
G	YRCG-001HP	HI	1072	78%	12%	836	236	336	51.95%	174.55	32.14	86.46	4.67
G	YRCG-002HP	HI	972	62%	15%	603	369	221	54.84%	121.20	22.31	60.03	3.24
G	YRCG-003HP	HI	1152	46%	10%	530	622	275	58.67%	161.34	29.70	79.91	4.32
G	YRCG-004HP	HI	1423	58%	15%	825	598	165	52.17%	86.08	15.85	42.64	2.30
TOTAL										543.17	100.00	269.04	

Tabla 28. Costo Energético de Extracción Pad G.

### 3.5. DETERMINACIÓN COSTO DE TRANSPORTE PETRÓLEO DEL B 21

El petróleo deshidratado en Yuralpa CPF es transferido por medio del oleoducto de 16" hacia Puerto Napo en donde nos unimos al oleoducto principal de AGIP en la válvula 5. El gasto de energía que se produce para la transferencia del petróleo también será tomado en cuenta para la determinación final del costo por transporte del mismo.

Para la transferencia de petróleo se utiliza un sistema de bombas eléctricas que demandan energía, para la determinación del costo energético por transferencia de petróleo se han realizado los cálculos en función de los Kilovatio/hora consumidos para lograr bombear el petróleo producido. Las tablas 29 y 30 muestran los resultados de los cálculos realizados:

CÁLCULO DE FACTOR KWH/BBL							
Marzo 2012	ENERGÍA GENERADA	ENERGÍA GENERADA	ENERGÍA GENERADA	ENERGÍA GENERADA	TOTAL GENERADO	CONSUMO DIARIO DE PETRÓLEO MEDIDO (BBLs)	INDICE (KWH/BBL)
DÍA	GENSET N°1 (kWh)	GENSET N°2 (kWh)	GENSET N°3 (kWh)	GENSET N°4 (kWh)	GENSET N° (1, 2, 3 y 4) (kWh)	GENSET N° (1, 2, 3 y 4)	
1	73.689,00	43.216,00	29.157,00	33.920,00	179.982,00	289,76	621,14
2	46.929,00	38.912,00	29.161,00	73.760,00	188.762,00	303,90	621,14
3	79.455,00	21.688,00	0,00	70.076,00	171.219,00	275,65	621,14

**Tabla 29.** Cálculo del Factor por Kilovatio - hora/Barril.

TRANSFERENCIA DE PETRÓLEO	EQUIPO	CONSUMO	PETRÓLEO COMBUSTIBLE	PETRÓLEO COMBUSTIBLE
	Tag	Kw/h	(Bbls/hora)	(Bbl/día)
Equipo principal	P-550	910	0,885	21,24
Equipos Auxiliares		210	0,34	8,11
TOTAL (BBLs/DÍA)				<b>29,35</b>

**Tabla 30.** Costo Energético del Transporte de Petróleo de Yuralpa CPF.

El volumen de petróleo producido en el campo Yuralpa es de 9512 barriles y es transferido hacia Puerto Napo con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de transferencia (bombas booster y bombas de alta presión).

Para bombear esta cantidad de petróleo el sistema de generación centralizado consume 29.35 Bbls/día (1232.7 galones/día) como se muestra en la tabla 30. Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de transferir el petróleo por pozo es de US\$ 0.294. Este valor es añadido al costo de extracción de cada pozo del campo Yuralpa como se observará en la Tabla 39.

### 3.6. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA

#### PRODUCIDA EN YURALPA

El volumen de agua producida en el campo Yuralpa es de 48673 barriles y reinyectada en los pozo Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión)

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 156.91 Bbls/día (6590.22 galones/día) como se muestra en la tabla 31. Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del B-21 por cada barril de agua que produzcan.

REINYECCIÓN DE AGUA	EQUIPO	CONSUMO	PETRÓLEO COMBUSTIBLE	PETRÓLEO COMBUSTIBLE
	Tag	Kw/h	(Bbls/hora)	(Bbl/día)
Equipo principal	P-710	1200	1.93	46.32
	P-720	1300	2.09	50.16
	P-730	1360	2.18	52.32
Equipos auxiliares		210	0.34	8.11
TOTAL (BBL/DÍA)				<b>156.91</b>

**Tabla 31.** Consumo promedio de petróleo combustible en CPF.



El costo energético total deberá ser interpolado para cada pozo del campo Yuralpa y subdividido en función del pad al que pertenecen, de esa manera tendremos el valor individual de gasto de energía que se produce por pozo para la reinyección total de agua.

### 3.6.1. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN PAD A

El volumen de agua producida en el pad A es de 14439 barriles y reinyectada en los pozo Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión).

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 46.53 Bbls/día (1954.26 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua del pad A en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad A por cada barril de agua producida.

La Tabla 32 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad A.

PAD	POZO	ZONA PROD	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
A	YRCA-004HP	HI	1555	78%	5%	1213	342	372.39	1.09
A	YRCA-005HP	HI	6718	97%	0%	6516	202	2000.41	9.90
A	YRCA-006HP	HI	321	22%	10%	71	250	21.80	0.09
A	YRCA-007HP	HI	1755	85%	0%	1492	263	458.04	1.74
A	YRCA-008HP	HI	2920	94%	0%	2745	175	842.72	4.82
A	YRCA-009HP	HI	1375	94%	0%	1293	82	396.95	4.84
A	YRCA-010HP	HI	1260	88%	5%	1109	151	340.46	2.25
A	YRCA-011HP	HI	0	100%	0%	0	0	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>						14439			

**Tabla 32.** Costo Energético Inyección Agua Pozos Pad A.

### 3.6.2. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN PAD B

El volumen de agua producida en el pad B es de 8039 barriles y reinyectada en los pozos Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión).

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 25.92 Bbls/día (1088.64 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua del pad B en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad B por cada barril de agua producida.

La TABLA 33 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad B.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
B	YRCB-002HP	HI	1140	83%	5%	946	194	290.42	1.50
B	YRCB-003HP	HI	860	87%	0%	748	112	229.64	2.05
B	YRCB-004S1HP	HI	914	71%	10%	649	265	199.24	0.75
B	YRCB-005HP	HI	2645	97%	0%	2566	79	787.76	9.97
B	YRCB-006HP	HI	1133	78%	0%	884	245	271.39	1.11
B	YRCB-007HP	HI	2496	90%	8%	2246	250	689.52	2.76
			TOTAL				8039		

**Tabla 33.** Costo Total Energético de Inyección de Agua Pozos Pad B.

### 3.6.3. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN CHONTA

El volumen de agua producida en Chonta es de 1552 barriles y reinyectada en los pozos Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión).

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 9.006 Bbls/día (378.252 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua de Chonta en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.55. Este valor tiene que ser añadido al pozo Chonta por cada barril de agua producida.

La Tabla 34 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad de Chonta.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
CHONTA	CHNA-001HP	HI	1669	93%	0	1552	119	853.6	7.17
						TOTAL	1552		

**Tabla 34.** Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozo Chonta.

### 3.6.4. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN EL PAD D

El volumen de agua producida en el pad D es de 6946 barriles y reinyectada en los pozos Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión).

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 22.39 Bbls/día (940.38 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de

inyectar cada barril de agua del pad D en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307.. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad D por cada barril de agua producida.

La Tabla 35 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad D.

PAD	POZO	TIPO BOMBA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
		BES	(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
D	YRCD-001HP	P 21	2773	89%	7%	2468	304	757.68	2.49
D	YRCD-002HP	P 47	2834	91%	5%	2579	254	791.75	3.12
D	YRCD-003HP	P 18	1310	83%	25%	1087	223	333.71	1.50
D	YRCD-004HP	P18	237	5%	30%	11	226	3.38	0.01
D	YRCD-005HP	P23	1484	54%	15%	801	683	245.91	0.36
<b>TOTAL</b>						<b>6946</b>			

**Tabla 35.** Total Costo Energético De Inyección de Agua Pozos Pad D

### 3.6.5. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN EL PAD E

El volumen de agua producida en el pad E es de 9336 barriles y reinyectada en los pozo Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión)

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 30.095 Bbls/día (940.38 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua del pad E en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad E por cada barril de agua producida.

La Tabla 36 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad E.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
E	YRCE-001HP	HI	3114	85%	5%	2647	467	812.63	1.74
E	YRCE-002HP	HI	2332	97%	0%	2262	70	694.43	9.92
E	YRCE-003HP	HI	1867	84%	5%	1568	299	481.38	1.61
E	YRCE-004HP	HI	1754	84%	8%	1473	281	452.21	1.61
E	YRCE-005HP		0	100%	0%	0		0.00	0.00
E	YRCE-006HP	HI	1507	92%	10%	1386	121	425.50	3.52
TOTAL						9336			

**Tabla 36.** Costo Total Energético de Inyección de Agua Pozos Pad E.

### 3.6.6. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN EL PAD F

El volumen de agua producida en el pad F es de 5547 barriles y reinyectada en los pozo Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión)

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 17.887 Bbls/día (940.38 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua del pad F en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad F por cada barril de agua producida.

La Tabla 37 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad F.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
F	YRCF-001HP	HI	1099	50%	20%	550	549	168.85	0.31
F	YRCF-002HP	HI	296	36%	20%	107	189	32.85	0.17
F	YRCF-004HP	HI	1024	57%	18%	584	440	179.29	0.41
F	YRCF-005HPRE	HS	608	74%	15%	450	158	138.15	0.87
F	YRCF-006HP	HI	2087	92%	8%	1920	167	589.44	3.53
F	YRCF-007HP	HI	540	81%	15%	437	103	134.16	1.30
F	YRCF-008HP	HI	653	65%	5%	424	229	130.17	0.57
F	YRCF-009HP	HI	781	80%	20%	625	156	191.88	1.23
F	YRCF-010HP	HI	489	92%	0%	450	39	138.15	3.54
			<b>TOTAL</b>		<b>5547</b>				

**Tabla 37.** Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozos Pad F.

### 3.6.7. COSTO ENERGÉTICO DE INYECCIÓN DEL AGUA PRODUCIDA EN EL PAD G.

El volumen de agua producida en el pad G es de 2794 barriles y reinyectada en los pozos Nemoca y Sumino con la ayuda del sistema de bombas eléctricas de reinyección (bombas booster y bombas de alta presión)

Para inyectar esta cantidad de agua el sistema de generación centralizado consume 9.06 Bbls/día (940.38 galones/día). Por tanto si el costo del petróleo utilizado como combustible es de 2.27 US/galón, el costo de inyectar cada barril de agua del pad G en Sumino y Nemoca es de US\$ 0.307. Este valor tiene que ser añadido a cada pozo del pad G por cada barril de agua producida.

La Tabla 38 muestra el costo extra que representa para cada barril de crudo producido en el pad G.

PAD	POZO	ZONA	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	US\$	US\$BBL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	DÍA	OIL
G	YRCG-001HP	HI	1072	78%	12%	836	236	256.65	1.09
G	YRCG-002HP	HI	972	62%	15%	603	369	185.12	0.50
G	YRCG-003HP	HI	1152	46%	10%	530	622	162.71	0.26
G	YRCG-004HP	HI	1423	58%	15%	825	598	253.28	0.42
TOTAL						2794			

**Tabla 38.** Total Costo Energético de Inyección de Agua Pozos Pad G.

Finalmente la Tabla 39 resume el costo por barril levantado en los pozos de Yuralpa Bloque 21, tomando en consideración el transporte y la inyección de agua.

CÁLCULO DEL COSTO ENERGÉTICO TOTAL POR BARRIL PRODUCIDO DE CADA POZO DEL CAMPO YURALPA

PAD	POZO	ZONA PROD	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD	COSTO BBL EXTRACCIÓN	COSTO BBL INYECCIÓN	COSTO BBL TRANSP	COSTO TOTAL
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)	US\$	US\$	US\$	US\$
A	YRCA-004HP	HI	1555	78%	5%	1213	342	8,45	1,09	0,294	9,83
A	YRCA-005HP	HI	6718	97%	0%	6516	202	6,08	9,90	0,294	16,28
A	YRCA-006HP	HI	321	22%	10%	71	250	6,67	0,09	0,294	7,05
A	YRCA-007HP	HI	1755	85%	0%	1492	263	5,62	1,74	0,294	7,65
A	YRCA-008HP	HI	2920	94%	0%	2745	175	7,04	4,82	0,294	12,15
A	YRCA-009HP	HI	1375	94%	0%	1293	82	5,71	4,84	0,294	10,84
A	YRCA-010HP	HI	1260	88%	5%	1109	151	4,98	2,25	0,294	7,52
A	YRCA-011HP	HI	0	100%	0%	0	0	0,00	0,00	0	0,00
B	YRCB-002HP	HI	1140	83%	5%	946	194	7,85	1,50	0,294	9,64
B	YRCB-003HP	HI	860	87%	0%	748	112	5,68	2,05	0,294	8,02
B	YRCB-004S1HP	HI	914	71%	10%	649	265	7,07	0,75	0,294	8,11
B	YRCB-005HP	HI	2645	97%	0%	2566	79	3,16	9,97	0,294	13,42
B	YRCB-006HP	HI	1133	78%	0%	884	245	6,79	1,11	0,294	8,19
B	YRCB-007HP	HI	2496	90%	8%	2246	250	7,63	2,76	0,294	10,68
CHONTA	CHNA-001HP	HI	1669	93%	0	1552	119	6,43	7,17	0,294	13,90
D	YRCD-001HP	HI	2773	89%	7%	2468	304	9,15	2,49	0,294	11,93
D	YRCD-002HP	HI	2834	91%	5%	2579	254	6,94	3,12	0,294	10,35
D	YRCD-003HP	HI	1310	83%	25%	1087	223	4,74	1,50	0,294	6,53
D	YRCD-004HP	HI	237	5%	30%	11	226	6,23	0,01	0,294	6,54
D	YRCD-005HP	HI	1484	54%	15%	801	683	4,77	0,36	0,294	5,42
E	YRCE-001HP	HI	3114	85%	5%	2647	467	25,24	1,74	0,294	27,27
E	YRCE-002HP	HI	2332	97%	0%	2262	70	3,78	9,92	0,294	14,00
E	YRCE-003HP	HI	1867	84%	5%	1568	299	16,16	1,61	0,294	18,06
E	YRCE-004HP	HI	1754	84%	8%	1473	281	15,19	1,61	0,294	17,09
E	YRCE-005HP	HI	0	100%	0%	0	0	0,00	0,00	0	0,00
E	YRCE-006HP	HI	1507	92%	10%	1386	121	6,54	3,52	0,294	10,35
F	YRCF-001HP	HI	1099	50%	20%	550	549	29,67	0,31	0,294	30,27
F	YRCF-002HP	HI	296	36%	20%	107	189	10,22	0,17	0,294	10,68
F	YRCF-004HP	HI	1024	57%	18%	584	440	23,78	0,41	0,294	24,48
F	YRCF-005HPRE	HS	608	74%	15%	450	158	8,54	0,87	0,294	9,71
F	YRCF-006HP	HI	2087	92%	8%	1920	167	9,03	3,53	0,294	12,85
F	YRCF-007HP	HI	540	81%	15%	437	103	5,57	1,30	0,294	7,16
F	YRCF-008HP	HI	653	65%	5%	424	229	12,38	0,57	0,294	13,24
F	YRCF-009HP	HI	781	80%	20%	625	156	8,43	1,23	0,294	9,96
F	YRCF-010HP	HI	489	92%	0%	450	39	2,11	3,54	0,294	5,94
G	YRCG-001HP	HI	1072	78%	12%	836	236	12,76	1,09	0,294	14,14
G	YRCG-002HP	HI	972	62%	15%	603	369	19,94	0,50	0,294	20,74
G	YRCG-003HP	HI	1152	46%	10%	530	622	33,62	0,26	0,294	34,17
G	YRCG-004HP	HI	1423	58%	15%	825	598	32,32	0,42	0,294	33,04
TOTAL			58169			48653	9512				

**Tabla 39.** Cálculo del Costo Energético Total por Barril Producido por Pozo del Campo Yuralpa.

### 3.7. DETERMINACIÓN DE LA GANANCIA NETA POR BARRIL DE CRUDO PRODUCIDO EN CADA POZO (C).

Una vez que hemos determinado en el subcapítulo 3.3.3. el precio de venta por barril (**Pv**) del crudo de cada pozo; en el sub índice 3.3.6.1. resumidos en la Tabla 19, se han determinado también los costos de extracción por barril (**Ce**) de todos los pozos. Podemos determinar entonces los



coeficientes (**C**), es decir la “ganancia neta por barril de petróleo producido en cada pozo “.

Así partiendo de la ecuación (11) y mediante links a las tablas de los subíndices 3.4 en adelante podemos resumir la tabla 40 en donde se muestra la ganancia neta por barril producido, es decir los factores **C** para cada pozo.

En la misma tabla 40 se ingresan los datos del REPOSEM (Reporte Semanal de producción de los pozos del Bloque 21), se incluyen la producción de fluido total (BFPD) y el API de cada pozo.

De esta manera podemos ya formular la función objetivo tomando como premisa el maximizar la ganancia de la empresa que se encuentra sujeta a los valores de producción máximos permitidos para cada pozo del bloque 21 como se observa en las ecuaciones que se encuentran a continuación de la tabla 40.

POZO	API	BFPD (BBLs)	BAPD (BBLs)	BPPD (BBLs)	PV (USDxBBL)	COSTO POR ENERGÍA (USD\$)	COSTO POR QUÍMICOS (USD\$)	COSTO POR EQUIPO (USD\$)	GANANCIA NETA (C) USD\$X BBL
YRCA-004HP	18.2	1555	1213	342	96.27	9.83	0.19	0.49	85.76
YRCA-005HP	17.8	6718	6516	202	95.96	16.28	0.13	0.83	78.73
YRCA-006HP	18.1	321	71	250	96.19	7.05	2.29	0.67	86.19
YRCA-007HP	17.9	1755	1492	263	96.04	7.65	0.18	0.64	87.57
YRCA-008HP	17.9	2920	2745	175	96.04	12.15	0.17	0.96	82.76
YRCA-009HP	17	1375	1293	82	95.34	10.84	0.37	2.04	82.09
YRCA-010HP	17.2	1260	1109	151	95.50	7.52	0.28	1.11	86.59
YRCB-002HP	18.2	1140	946	194	96.27	9.64	0.28	0.86	85.49
YRCB-003HP	16	860	748	112	94.57	8.02	0.39	1.49	84.66
YRCB-004S1HP	17	914	649	265	95.34	8.11	0.34	0.63	86.26
YRCB-005HP	18	2645	2566	79	96.12	13.42	0.28	2.12	80.29
YRCB-006HP	17.1	1133	884	245	95.42	8.19	0.27	0.68	86.27
YRCB-007HP	16.8	2496	2246	250	95.19	10.68	0.15	0.67	83.69
CHNTA-001HP	14.1	1669	1552	119	93.09	13.90	0.14	1.41	77.64
YRCD-001HP	18	2773	2468	304	96.12	11.93	0.09	0.55	83.54
YRCD-002HP	18.3	2834	2579	254	96.35	10.35	0.09	0.66	85.25
YRCD-003HP	17.3	1310	1087	223	95.57	6.53	0.18	0.75	88.11
YRCD-004HP	17.3	237	11	226	95.57	6.54	14.26	0.29	74.48
YRCD-005HP	17.5	1484	801	683	95.73	5.42	0.21	0.25	89.85
YRCE-001HP	18.3	3114	2647	467	96.35	27.27	0.09	0.36	68.62
YRCE-002HP	18.2	2332	2262	70	96.27	14.00	0.30	2.39	79.58
YRCE-003HP	18.1	1867	1568	299	96.19	18.06	0.15	0.30	77.68
YRCE-004HP	17	1754	1473	281	95.34	17.09	0.16	0.60	77.49
YRCE-006HP	18	1507	1386	121	96.12	10.35	0.25	1.38	84.14
YRCF-001HP	16.1	1099	550	549	94.64	30.27	0.39	0.30	63.68
YRCF-002HP	17	296	107	189	95.34	10.68	1.83	0.58	82.25
YRCF-004HP	17.5	1024	584	440	95.73	24.48	0.38	0.38	70.48
YRCF-005HPRE	16.7	608	450	158	95.11	9.71	0.63	1.06	83.72
YRCF-006HP	17.3	2087	1920	167	95.57	12.85	0.32	1.00	81.41
YRCF-007HP	15.4	540	437	103	94.10	7.16	0.76	1.62	84.55
YRCF-008HP	15.77	653	424	229	94.39	13.24	0.58	0.73	79.84
YRCF-009HP	15.8	781	625	156	94.41	9.96	0.52	1.07	82.86
YRCF-010HP	15.9	489	450	39	94.49	5.94	1.35	4.29	82.90
YRCG-001HP	16.3	1072	836	236	94.80	14.14	0.30	0.71	79.65
YRCG-002HP	16.1	972	603	369	94.64	20.74	0.33	0.45	73.12
YRCG-003HP	16.6	1152	530	622	95.03	34.17	0.34	0.27	60.25
YRCG-004HP	16.1	1423	825	598	94.64	33.04	0.23	0.29	61.08

**Tabla 40.** Ganancia Neta Por Barril-Coeficientes C Para La Función Objetivo.

**Función Objetivo:**

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } Z = & 85.76X_1 + 78.73X_2 + 86.19X_3 + 87.57X_4 + 82.76X_5 + 82.09X_6 \\ & + 86.59X_7 + 85.49X_8 + 84.66X_9 + 86.26X_{10} + 80.29X_{11} + 86.27X_{12} + 83.69X_{13} \\ & + 77.64X_{14} + 83.54X_{15} + 85.25X_{16} + 88.11X_{17} + 74.48X_{18} + 89.85X_{19} + 68.62X_{20} \\ & + 79.58X_{21} + 77.68X_{22} + 77.49X_{23} + 84.14X_{24} + 63.68X_{25} + 82.25X_{26} + 70.48X_{27} \\ & + 83.72X_{28} + 81.41X_{29} + 84.55X_{30} + 79.84X_{31} + 82.86X_{32} + 82.90X_{33} + 79.65X_{34} \\ & + 73.12X_{35} + 60.25X_{36} + 61.08X_{37} \end{aligned}$$

**Sujeto a:**

$$X_1 \leq 342; X_2 \leq 202; X_3 \leq 250; X_4 \leq 263; X_5 \leq 175; X_6 \leq 82;$$

$$X_7 \leq 151; X_8 \leq 194; X_9 \leq 112; X_{10} \leq 265; X_{11} \leq 79; X_{12} \leq 245;$$

$$X_{13} \leq 250; X_{14} \leq 119; X_{15} \leq 304; X_{16} \leq 254; X_{17} \leq 223; X_{18} \leq 226;$$

$$X_{19} \leq 683; X_{20} \leq 467; X_{21} \leq 70; X_{22} \leq 299; X_{23} \leq 281; X_{24} \leq 121;$$

$$X_{25} \leq 549; X_{26} \leq 189; X_{27} \leq 440; X_{28} \leq 158; X_{29} \leq 167; X_{30} \leq 103;$$

$$X_{31} \leq 229; X_{32} \leq 156; X_{33} \leq 39; X_{34} \leq 236; X_{35} \leq 369; X_{36} \leq 622;$$

$$X_{37} \leq 598.$$

Finalmente y para poder armar totalmente el modelo matemático, necesitamos calcular los coeficientes de la penúltima y la última ecuación, estos como se pudo observar son de fácil cálculo y se resumen junto a los coeficientes **C** en la tabla 41.

La tabla 41 nos servirá entonces como la base para conformar definitivamente el modelo matemático; con los datos obtenidos se realizará

la formulación de las últimas ecuaciones necesarias para la cantidad de petróleo y agua respectivamente y que se encuentran desarrolladas a continuación de la tabla 41.

N°	POZO	COEFICIENTE FUNCIÓN OBJETIVO		RHS DE LAS INECUA		COEF. PEN.INEC		COEF.UTM. INECUACIÓN	
		USDS/ BBL		INEC	RHS				BS&W/(1-BS&W)
1	YRCA-004HP	C1	85,76	1	342	C38	1	C75	3,55
2	YRCA-005HP	C2	78,73	2	202	C39	1	C76	32,33
3	YRCA-006HP	C3	86,19	3	250	C40	1	C77	0,28
4	YRCA-007HP	C4	87,57	4	263	C41	1	C78	5,67
5	YRCA-008HP	C5	82,76	5	175	C42	1	C79	15,67
6	YRCA-009HP	C6	82,09	6	82	C43	1	C80	15,67
7	YRCA-010HP	C7	86,59	7	151	C44	1	C81	7,33
8	YRCB-002HP	C8	85,49	8	194	C45	1	C82	4,88
9	YRCB-003HP	C9	84,66	9	112	C46	1	C83	6,69
10	YRCB-004S1HP	C10	86,26	10	265	C47	1	C84	2,45
11	YRCB-005HP	C11	80,29	11	79	C48	1	C85	32,33
12	YRCB-006HP	C12	86,27	12	245	C49	1	C86	3,55
13	YRCB-007HP	C13	83,69	13	250	C50	1	C87	9,00
14	CHNA-001HP	C14	77,64	14	119	C51	1	C88	13,29
15	YRCD-001HP	C15	83,54	15	304	C52	1	C89	8,09
16	YRCD-002HP	C16	85,25	16	254	C53	1	C90	10,11
17	YRCD-003HP	C17	88,11	17	223	C54	1	C91	4,88
18	YRCD-004HP	C18	74,48	18	226	C55	1	C92	0,05
19	YRCD-005HP	C19	89,85	19	683	C56	1	C93	1,17
20	YRCE-001HP	C20	68,62	20	467	C57	1	C94	5,67
21	YRCE-002HP	C21	79,58	21	70	C58	1	C95	32,33
22	YRCE-003HP	C22	77,68	22	299	C59	1	C96	5,25
23	YRCE-004HP	C23	77,49	23	281	C60	1	C97	5,25
24	YRCE-006HP	C24	84,14	24	121	C61	1	C98	11,50
25	YRCF-001HP	C25	63,68	25	549	C62	1	C99	1,00
26	YRCF-002HP	C26	82,25	26	189	C63	1	C100	0,56
27	YRCF-004HP	C27	70,48	27	440	C64	1	C101	1,33
28	YRCF-005HPRE	C28	83,72	28	158	C65	1	C102	2,85
29	YRCF-006HP	C29	81,41	29	167	C66	1	C103	11,50
30	YRCF-007HP	C30	84,55	30	103	C67	1	C104	4,26
31	YRCF-008HP	C31	79,84	31	229	C68	1	C105	1,86
32	YRCF-009HP	C32	82,86	32	156	C69	1	C106	4,00
33	YRCF-010HP	C33	82,90	33	39	C70	1	C107	11,50
34	YRCG-001HP	C34	79,65	34	236	C71	1	C108	3,55
35	YRCG-002HP	C35	73,12	35	369	C72	1	C109	1,63
36	YRCG-003HP	C36	60,25	36	622	C73	1	C110	0,85
37	YRCG-004HP	C37	61,08	37	598	C74	1	C111	1,38

**Tabla 41.** Inecuaciones y Coeficientes De La Función Objetivo

**Para la cantidad de petróleo igual a:**

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \\ + X_{16} + X_{17} + \dots + X_{37} = 7000$$

**Y la cantidad de agua producida igual a:**

$$3.55X_1 + 32.33 X_2 + 0.28 X_3 + 5.67 X_4 + 15.67 X_5 + 15.67X_6 + 7.33 X_7 + 4.88X_8 \\ + 6.69 X_9 + 2.45 X_{10} + 32.33X_{11} + 3.55 X_{12} + 9.00 X_{13} + 13.29 X_{14} + 8.09 X_{15} + \\ 10.11X_{16} + 4.88X_{17} + 0.05X_{18} + 1.17 X_{19} + 5.67X_{20} + 32.33 X_{21} + 5.25 X_{22} \\ + 5.25X_{23} + 11.50X_{24} + 1.00X_{25} + 0.56 X_{26} + 1.33 X_{27} + 2.85X_{28} + 11.50 X_{29} + 4.26 \\ X_{30} + 1.86 X_{31} + 4.00 X_{32} + 11.50X_{33} + 3.55 X_{34} + 1.63 X_{35} + 0.85 X_{36} + 1.38X_{37} \\ \leq 24000$$

### **3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS AL TOMAR UNA DECISIÓN ALEATORIA**

Una vez que tenemos determinados los coeficientes de la función objetivo, y antes de pasar al siguiente capítulo en donde resolveremos el modelo y tomaremos la decisión óptima del ejemplo colocado en la sección 3.3, podemos determinar cuáles serían los resultados económicos de tomar una decisión sin considerar todas las variables, es decir como hasta ahora se ha venido haciendo en la industria empíricamente.

Basándonos entonces en el ejemplo de la sección 3.3, es decir debemos producir solo 7000 barriles de petróleo (de los 9512 Bbls que son el potencial del campo) y considerando que máximo solo se produzcan 24000 barriles de agua (potencial de agua del campo 48653 BPD). La decisión sin

duda sería apagar los pozos de más elevado BS&W, con lo que la decisión tomada sería apagar algunos pozos que se presentan en la tabla 42.

PAD	POZO	ZONA PROD	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD
			(Bbls)	(%)	(%)	(Bbls)	(Bbls)
A	YRCA-004HP	HI	1555	78%	5%	1213	342
A	YRCA-005HP	HI	6718	97%	0%	6516	202
A	YRCA-006HP	HI	321	22%	10%	71	250
A	YRCA-007HP	HI	1755	85%	0%	1492	263
A	YRCA-008HP	HI	2920	94%	0%	2745	175
A	YRCA-009HP	HI	1375	94%	0%	1293	82
A	YRCA-010HP	HI	1260	88%	5%	1109	151
A	YRCA-011HP	HI	0	100%	0%	0	0
B	YRCB-002HP	HI	1140	83%	5%	946	194
B	YRCB-003HP	HI	860	87%	0%	748	112
B	YRCB-004S1HP	HI	914	71%	10%	649	265
B	YRCB-005HP	HI	2645	97%	0%	2566	79
B	YRCB-006HP	HI	1133	78%	0%	884	245
B	YRCB-007HP	HI	2496	90%	8%	2246	250
CHONTA	CHNA-001HP	HI	1669	93%	0	1552	119
D	YRCD-001HP	HI	2773	89%	7%	2468	304
D	YRCD-002HP	HI	2834	91%	5%	2579	254
D	YRCD-003HP	HI	1310	83%	25%	1087	223
D	YRCD-004HP	HI	237	5%	30%	11	226
D	YRCD-005HP	HI	1484	54%	15%	801	683
E	YRCE-001HP	HI	3114	85%	5%	2647	467
E	YRCE-002HP	HI	2332	97%	0%	2262	70
E	YRCE-003HP	HI	1867	84%	5%	1568	299
E	YRCE-004HP	HI	1754	84%	8%	1473	281
E	YRCE-005HP	HI	0	100%	0%	0	
E	YRCE-006HP	HI	1507	92%	10%	1386	121
F	YRCF-001HP	HI	1099	50%	20%	550	549
F	YRCF-002HP	HI	296	36%	20%	107	189
F	YRCF-004HP	HI	1024	57%	18%	584	440
F	YRCF-005HPRE	HS	608	74%	15%	450	158
F	YRCF-006HP	HI	2087	92%	8%	1920	167
F	YRCF-007HP	HI	540	81%	15%	437	103
F	YRCF-008HP	HI	653	65%	5%	424	229
F	YRCF-009HP	HI	781	80%	20%	625	156
F	YRCF-010HP	HI	489	92%	0%	450	39
G	YRCG-001HP	HI	1072	78%	12%	836	236
G	YRCG-002HP	HI	972	62%	15%	603	369
G	YRCG-003HP	HI	1152	46%	10%	530	622
G	YRCG-004HP	HI	1423	58%	15%	825	598
<b>TOTAL</b>			<b>58169</b>			<b>48653</b>	<b>9512</b>

**Tabla 42.** Producción de Pozos del Campo Yuralpa Bloque 21.

Observamos que al apagar los pozos como se observa en la TABLA 43 se reducirá la producción de petróleo en 6970 Barriles en ese día, con lo que los Barriles de crudo producidos serán 6970, casi lo que se persigue, se cumple entonces con esa condición operativa. En cuanto a la condición de máxima producción de agua, tendríamos que el agua producida en ese día sería 23808 Barriles, que también cumple con la segunda premisa operativa.

CIERRE DE POZOS POR RESTRICCIÓN DE PRODUCCIÓN							
PAD	POZO	ZONA PROD	BFPD	BS&W	GAS	BAPD	BPPD
			(Bbbls)	(%)	(%)	(Bbbls)	(Bbbls)
A	YRCA-004HP	HI	1555	78%	5%	1213	342
A	YRCA-005HP	HI	6718	97%	0%		
A	YRCA-006HP	HI	321	22%	10%	71	250
A	YRCA-007HP	HI	1755	85%	0%		
A	YRCA-008HP	HI	2920	94%	0%		
A	YRCA-009HP	HI	1375	94%	0%	1293	82
A	YRCA-010HP	HI	1260	88%	5%	1109	151
A	YRCA-011HP	HI	0	100%	0%	0	0
B	YRCB-002HP	HI	1140	83%	5%		
B	YRCB-003HP	HI	860	87%	0%	748	112
B	YRCB-004S1HP	HI	914	71%	10%	649	265
B	YRCB-005HP	HI	2645	97%	0%	2566	79
B	YRCB-006HP	HI	1133	78%	0%	884	245
B	YRCB-007HP	HI	2496	90%	8%		
CHONTA	CHNA-001HP	HI	1669	93%	0	1552	119
D	YRCD-001HP	HI	2773	89%	7%		
D	YRCD-002HP	HI	2834	91%	5%		
D	YRCD-003HP	HI	1310	83%	25%		
D	YRCD-004HP	HI	237	5%	30%	11	226
D	YRCD-005HP	HI	1484	54%	15%	801	683
E	YRCE-001HP	HI	3114	85%	5%	2647	467
E	YRCE-002HP	HI	2332	97%	0%		
E	YRCE-003HP	HI	1867	84%	5%	1568	299
E	YRCE-004HP	HI	1754	84%	8%	1473	281
E	YRCE-005HP	HI	0	100%	0%	0	
E	YRCE-006HP	HI	1507	92%	10%	1386	121
F	YRCF-001HP	HI	1099	50%	20%	550	549
F	YRCF-002HP	HI	296	36%	20%	107	189
F	YRCF-004HP	HI	1024	57%	18%		
F	YRCF-005HPRE	HS	608	74%	15%	450	158
F	YRCF-006HP	HI	2087	92%	8%		
F	YRCF-007HP	HI	540	81%	15%	437	103
F	YRCF-008HP	HI	653	65%	5%	424	229
F	YRCF-009HP	HI	781	80%	20%	625	156
F	YRCF-010HP	HI	489	92%	0%	450	39
G	YRCG-001HP	HI	1072	78%	12%	836	236
G	YRCG-002HP	HI	972	62%	15%	603	369
G	YRCG-003HP	HI	1152	46%	10%	530	622
G	YRCG-004HP	HI	1423	58%	15%	825	598
<b>TOTAL</b>			<b>58169</b>			<b>23808</b>	<b>6970</b>

**Tabla 43.** Producción de campo restringida para análisis comparativo.

La ganancia neta total para la empresa luego de tomar la decisión aleatoria será entonces:

$$\begin{aligned} \text{GANANCIA Z} = & 85.76*342 + 78.73*0 + 86.19*250 + 87.57*0 + 82.76*0 + \\ & 82.09*82 + 86.59*151 + 85.49*0 + 84.66*112 + 86.26*265 + 80.29*79 + \\ & 86.27*245 + 83.69*0 + 77.64*119 + 83.54*0 + 85.25*0 + 88.11*0 + 74.48*226 \\ & + 89.85*683 + 68.62*467 + 79.58*0 + 77.68*299 + 77.49*281 + 84.14*121 + \\ & 63.68*549 + 82.25*189 + 70.48*0 + 83.72*152 + 81.41*0 + 84.55*103 + \\ & 79.84*229 + 82.86*156 + 82.90*39 + 79.65*236 + 73.12*369 + 60.25*622 + \\ & 61.08*598 \end{aligned}$$

$$\text{Z} = \text{US\$ } 532611.$$



## **CAPITULO 4.**

### **4.0. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

Una solución manual del modelo matemático por el método simplex utilizando el modelo Reddy Mikks para el cual se ha convertido el modelo en un sistema de 37 ecuaciones con 37 incógnitas, será necesario ir encontrando “soluciones básicas” al problema y finalmente determinar cuál es la solución óptima. Como es de conocimiento, una solución básica es producto de hacer 0  $m - n$  variables, siendo  $m$  el número de incógnitas y  $n$  el número de variables.

Solo por didáctica, incluimos en la tabla 44 el Modelo Reddy Mikks inicial para la solución del problema. Si continuáramos manualmente serían necesarias realizar al menos 76 iteraciones con estas tablas y realizando artificios matemáticos para encontrar la solución óptima. Es decir manualmente es demasiado complicado encontrar la solución óptima.

Como se explicó al inicio, el software que utilizaremos para la resolución del problema de Programación Lineal es el llamado “**TORA**” versión 2 del 01 de Junio de 2002, su autor es **Hamdy A. Taha**, autor del libro “Investigación de Operaciones”.

Será necesario indicar el modo de utilización del Software para Programación Lineal, debido a que "TORA" permite también resolver problemas de: Ecuaciones Lineales, Modelo de Transportación, Programación Integral, Modelos de Red, Planificación de Proyectos, Análisis Queuing, Zero-Sum Games y por supuesto modelos de Programación lineal. Cabe recalcar que el programa es de propiedad del profesor Hamdy A. Taha, y, que la utilización del mismo en el desarrollo de esta tesis ha sido exclusivamente con fines académicos.

**Tabla 44. Tabla Inicial para Solución Manual Método Simplex Primal**

SOLUCIÓN MÉTODO SIMPLEX MANUAL																									
BÁSICA	Z	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24
Z	1,00	85.76	78.73	86.19	87.57	82.76	82.09	86.59	85.49	84.66	86.26	80.29	86.27	83.69	77.64	83.54	85.25	88.11	74.48	89.85	68.62	79.58	77.68	77.49	84.14
S1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
S19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
S20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
S23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
S25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S38	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S39	0	3.55	32.33	0.28	5.67	15.67	15.67	7.33	4.88	6.69	2.45	32.33	3.55	9	13.29	8.09	10.11	4.88	0.05	1.17	5.67	32.33	5.25	5.25	11.50

Tabla 44. Tabla Inicial para Solución Manual Método Simplex Primal (Continuación 1).

SOLUCIÓN MÉTODO SIMPLEX MANUAL																										
BÁSICA	Z	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Z	1	63.68	82.25	70.48	83.72	81.41	84.55	79.84	82.86	82.90	79.65	73.12	60.25	61.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
S5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
S12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S38	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S39	0	1	0.56	1.33	2.85	11.50	4.26	1.86	4	11.50	3.55	1.63	0.85	1.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 44. Tabla Inicial para Solución Manual Método Simplex Primal (Continuación 2).

SOLUCIÓN MÉTODO SIMPLEX MANUAL																										
BÁSICA	Z	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Z	1	63.68	82.25	70.48	83.72	81.41	84.55	79.84	82.86	82.90	79.65	73.12	60.25	61.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
S5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
S12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S38	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S39	0	1	0.56	1.33	2.85	11.50	4.26	1.86	4	11.50	3.55	1.63	0.85	1.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 44. Tabla Inicial para Solución Manual Método Simplex Primal (Parte Final).

<b>SOLUCIÓN MÉTODO SIMPLEX MANUAL</b>				
<b>BÁSICA</b>	<b>Z</b>	<b>S36</b>	<b>S37</b>	<b>SOLUCION</b>
Z	1,00	0	0	0
S1	0	0	0	342
S2	0	0	0	202
S3	0	0	0	250
S4	0	0	0	263
S5	0	0	0	175
S6	0	0	0	82
S7	0	0	0	151
S8	0	0	0	194
S9	0	0	0	112
S10	0	0	0	265
S11	0	0	0	79
S12	0	0	0	245
S13	0	0	0	250
S14	0	0	0	119
S15	0	0	0	304
S16	0	0	0	254
S17	0	0	0	223
S18	0	0	0	226
S19	0	0	0	683
S20	0	0	0	467
S21	0	0	0	70
S22	0	0	0	299
S23	0	0	0	281
S24	0	0	0	121
S25	0	0	0	549
S26	0	0	0	189
S27	0	0	0	440
S28	0	0	0	158
S29	0	0	0	167
S30	0	0	0	103
S31	0	0	0	229
S32	0	0	0	156
S33	0	0	0	39
S34	0	0	0	236
S35	0	0	0	369
S36	0	1	0	622
S37	0	0	1	598
S38	0	0	0	6970
S39	0	0	0	23808

## 4.2. ALIMENTACIÓN DE DATOS DEL MODELO AL SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN “TORA”

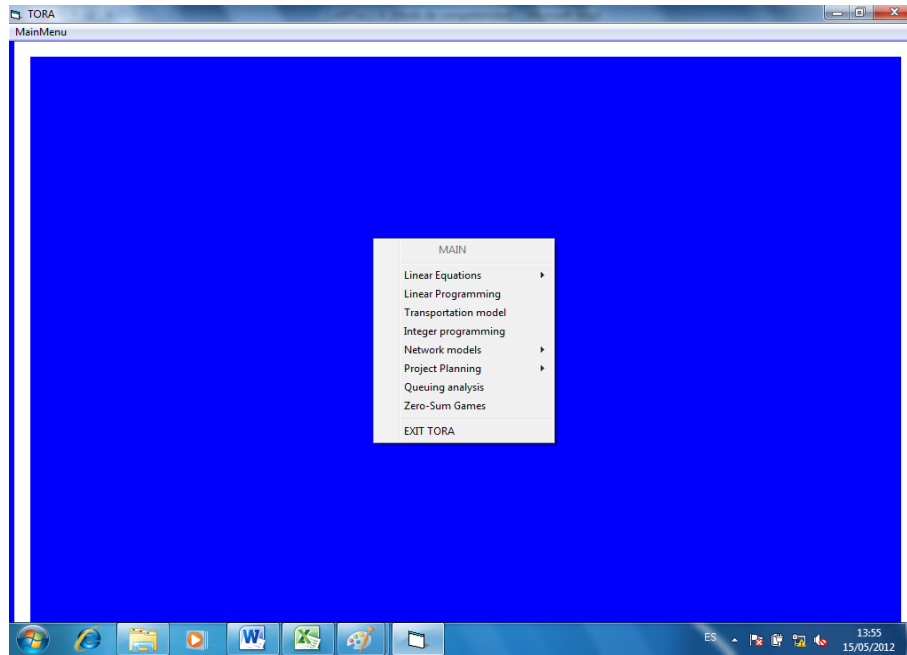
El desarrollo del programa en el transcurso de los años por parte del autor Handy A. Taha facilitó el uso del software por medio de Windows es importante anotar que para manejar el software en las antiguas versiones solo se podía utilizar las teclas funcionales y el recurso del mouse era limitado para seleccionar cualquier opción.

La pantalla inicial de TORA se visualiza de la siguiente manera:



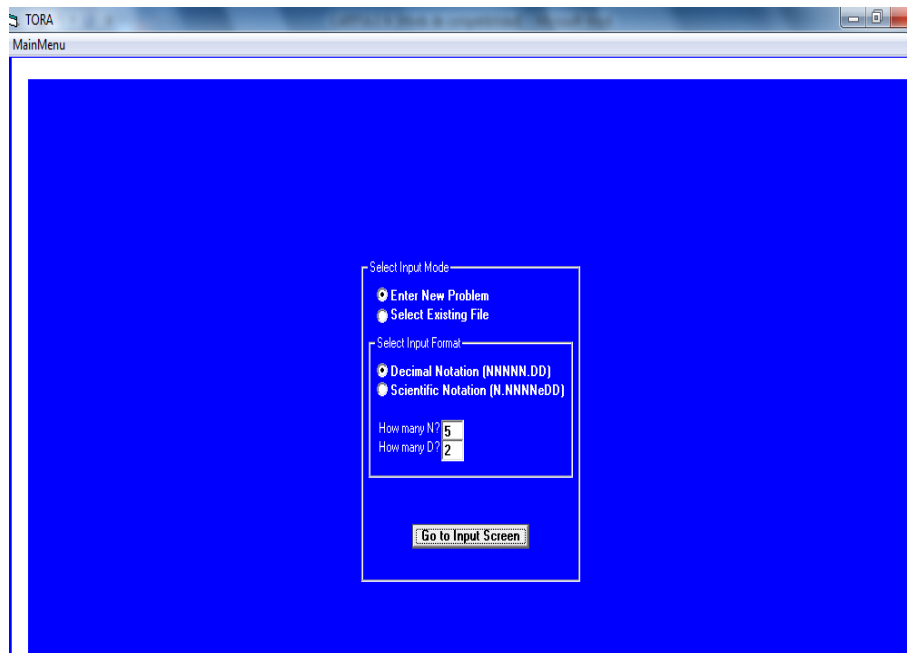
**Figura 47.** Pantalla de inicio del programa “TORA”.

Presionamos la tecla “**Click Here**” para continuar y aparece la siguiente pantalla:



**Figura 48.** Pantalla para seleccionar el tipo de problema.

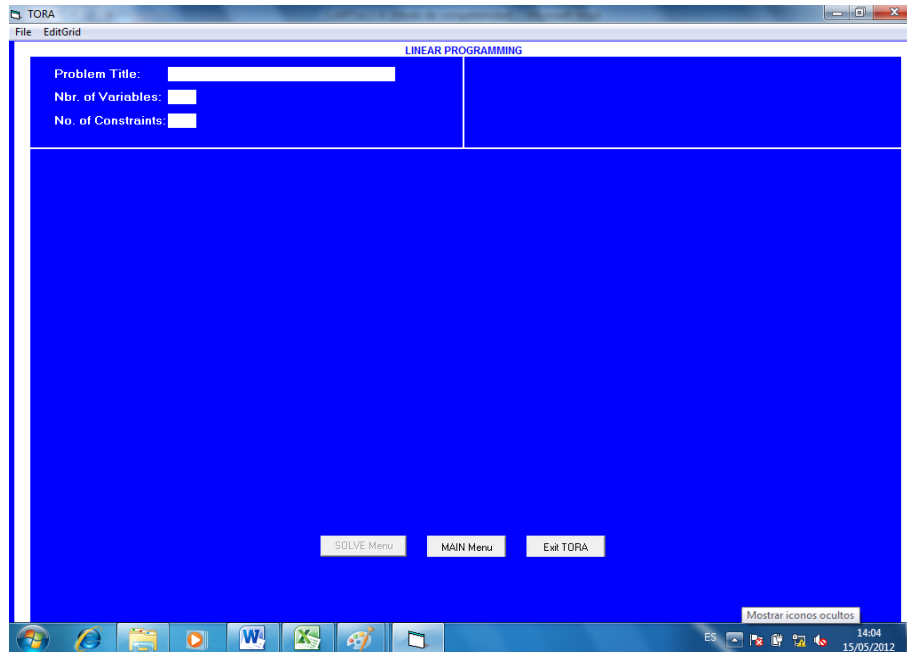
Elegimos la segunda opción con las flechas y presionamos enter, aparece la siguiente pantalla:



**Figura 49.** Pantalla para seleccionar problema nuevo o existente.



Con las flechas del teclado elegimos la opción “Enter new problem” y presionamos “Go to Input Screen”, aparecerá entonces la siguiente pantalla:



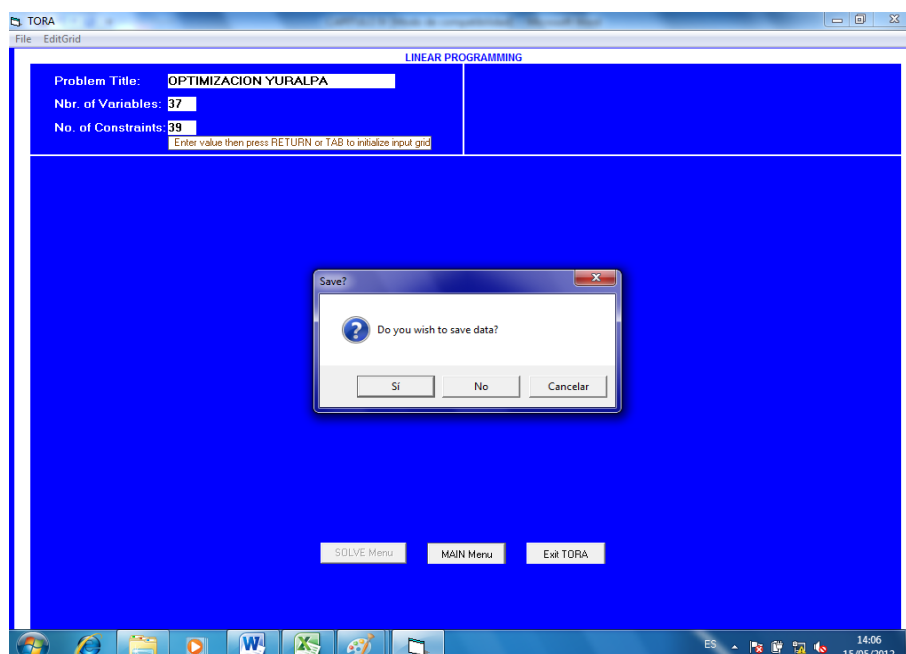
**Figura 50.** Pantalla para definir el problema.

En esta pantalla como podemos observar, se pueden ingresar:

- El título del problema.- en nuestro caso le pondremos de título ANÁLISIS TESIS 1.
- El número de variables.- que en nuestro caso es el número de pozos, es decir 37.
- El número de restricciones.- que son 39. Las primeras 37 corresponden a la producción máxima que puede tener cada pozo, la penúltima la producción deseada de crudo y la última la máxima cantidad de agua deseada.

Al presionar la tecla “enter” o dar un “click” en la pantalla, enseguida se despliega la base de datos en donde se ingresara la información según el modelo desarrollado para la presente tesis:

- La base de datos nos permite poner nombres a las variables en cada celda seleccionada desde la primera fila de izquierda hacia la derecha de acuerdo al número de variables existentes (37 para nuestro caso).
- La base de datos permite además definir si deseamos límites inferiores diferentes de cero, colocamos “n”.
- Adicionalmente también nos permite definir si queremos límites superiores finitos, colocamos “n”.
- Y la última opción nos pregunta si vamos a introducir “variables irrestrictas” o no, colocamos “n”, ya que como sabemos todas nuestras variables van a estar entre 0 y un valor superior límite. Pulsamos Enter y aparece la siguiente pantalla en donde ingresaremos los nombres de las variables:



**Figura 51.** Pantalla de inicio para ingreso de datos.



**Figura 52.** Pantalla para ingresar nombres de variables.

El nombre de las variables será colocado en el mismo orden en que se encuentran en la tabla 41 de Coeficientes de Función Objetivo e Inecuaciones, es decir en  $X_1$  pondremos YRC 001, en  $X_2$  YRC 002 y así sucesivamente hasta ingresar el total de variables.

Una vez terminados de ingresar los nombres de las variables en la primera fila, en la segunda fila de la base de datos nos permite ingresar la "Función Objetivo":



**Figura 53.** Base de datos para ingresar función objetivo y variables obtenidas en el desarrollo de la tesis.

En esta pantalla podemos seleccionar si nuestro objetivo es maximizar (max) o minimizar (min). Seleccionamos **Maximize** e iniciamos a colocar los coeficientes de la Función Objetivo.

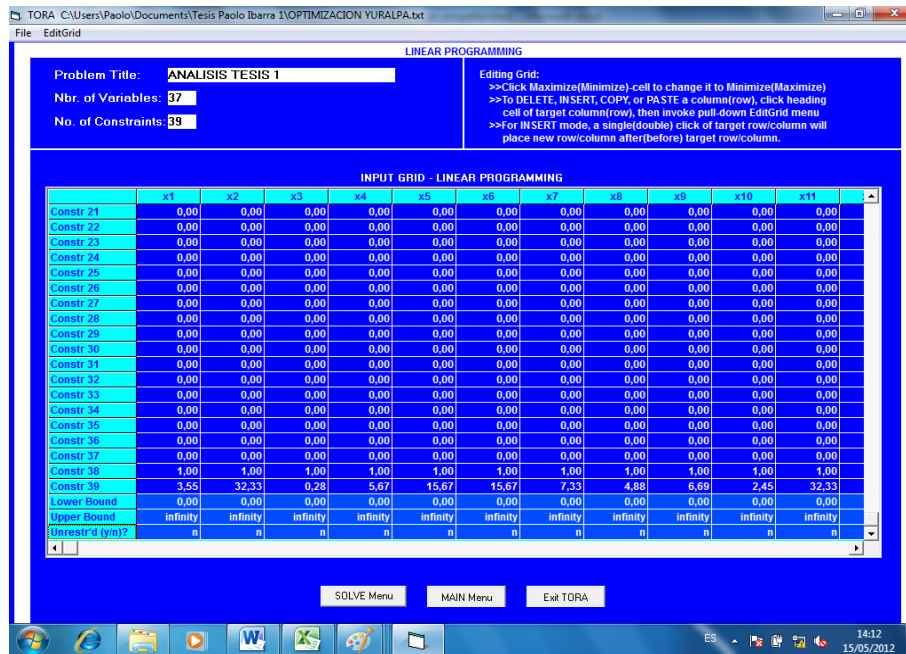
Luego de ingresar el último coeficiente, adicionalmente nos permite ingresar los coeficientes de la primera restricción y de la segunda restricción.



Figura 54. Pantalla para ingreso de coeficientes e inecuaciones 1.



Figura 55. Pantalla para ingreso de coeficientes e inecuaciones 2.



**Figura 56.** Pantalla para ingreso de coeficientes de la función objetivo y restricciones.

Para la primera restricción el coeficiente de  $X_1$  será 1 y para el resto permanecerá en 0. La inecuación al final será  $\leq$  y el RHS (en español =lado derecho de la inecuación) será 342. Al mover el cursor a la siguiente fila nos permite ingresar los coeficientes de la segunda inecuación, para esta el coeficiente de  $X_2$  será 1 y el resto 0 y el RHS será 202. Procedemos de esta manera hasta llenar las 37 primeras inecuaciones.

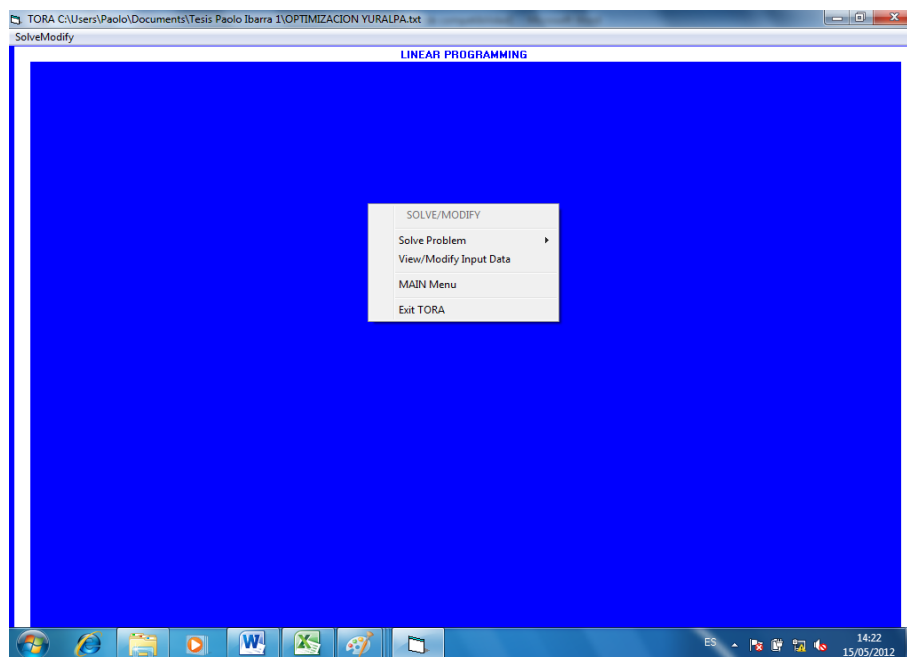
Para la ecuación número 38 que corresponde al valor de crudo deseado en ese día, todos los coeficientes serán 1, el signo será = y el RHS será el valor de crudo que deseamos producir, en esta primera corrida serán 7000 BIs de petróleo.

Para la inecuación número 39, que corresponde al valor máximo de agua deseado en ese día, los coeficientes de igual manera ya los conocemos y los ingresamos. Al ingresar el valor de agua deseada en el RHS de la inecuación 39.

Las siguientes filas permite ingresar y definir si queremos límites superiores finitos, colocamos "n".

Por ultimo en la última fila se puede ingresar “variables irrestrictas” o no, colocamos “n”, ya que como sabemos todas nuestras variables van a estar entre 0 y un valor superior límite.

El software nos consultará si deseamos guardar esta información y con qué nombre, ponemos “y” y volvemos a escribir el nombre del archivo que deseamos, presionamos enter y aparece el siguiente menú:

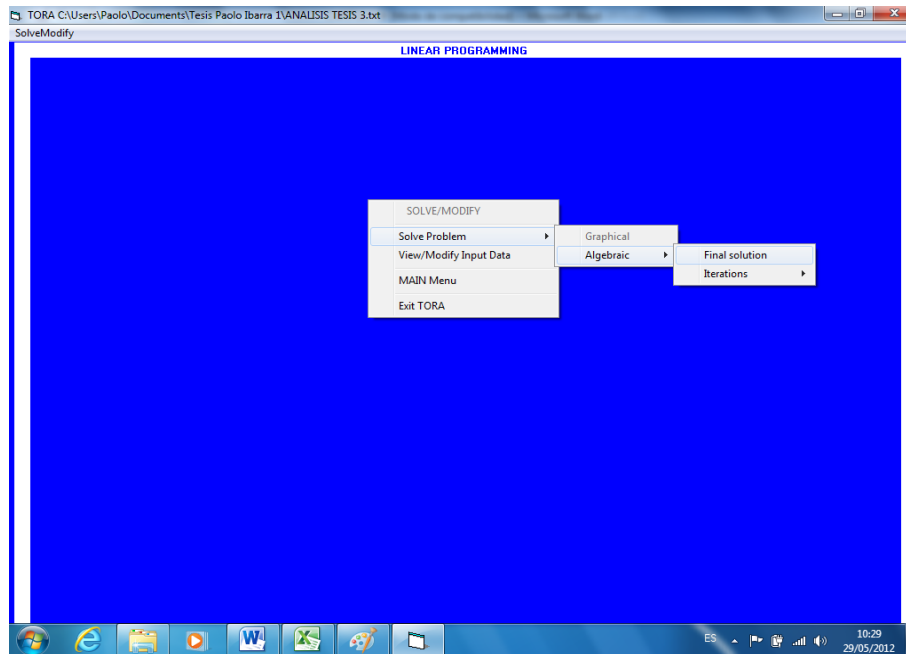


**Figura 57.** Pantalla de menú para resolver problema (solve/modify).

Como podemos apreciar, este menú nos permite:

- Resolver el problema
- Modificar los datos del problema.
- Visualizar los datos del problema.
- Regresar al menú principal
- Salir de TORA

Seleccionamos la opción “Solve Problem”, “Algebraic” y por ultimo “Final solución” luego aparece la siguiente pantalla:



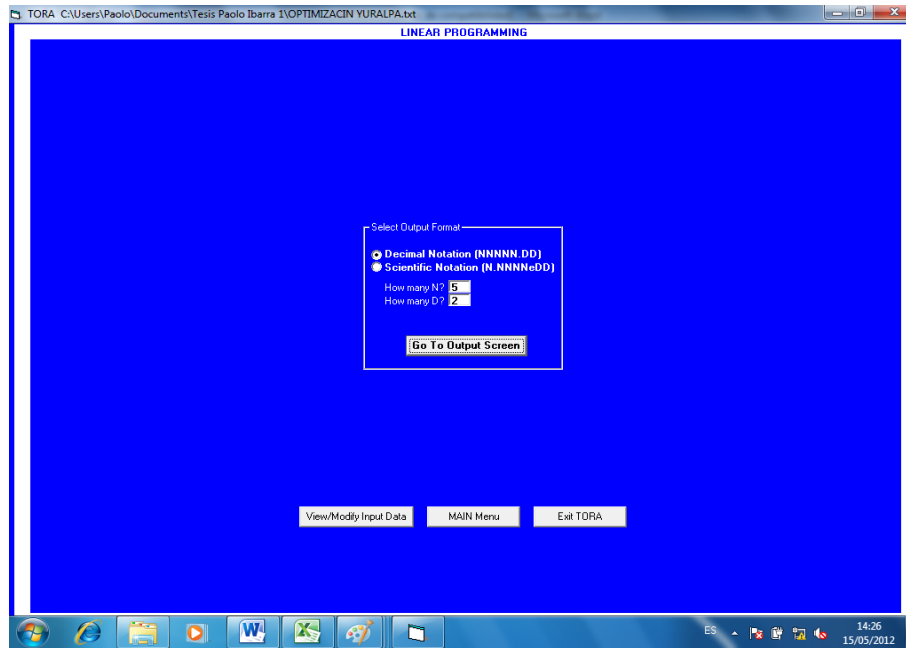
**Figura 58.** Pantalla de menú para resolver problema (Final Solution).

Elegimos la opción:

- Solve problem,
- Algebraic,
- Por último Final solution

Posteriormente aparecerá la siguiente pantalla:





**Figura 59.** Pantalla de Menú “Go to Output Screen”

Elegimos la opción:

- Go To Output Screen

Luego se despliegan los resultados obtenidos y que nos permite:

- Ver la solución óptima y el análisis de sensibilidad.
- Imprimir la solución óptima y el análisis de sensibilidad.
- Obtener una solución óptima alternativa (en caso de existir).
- Ver la tabla optima e imprimirla
- Ver los datos originales ingresados e imprimirlos

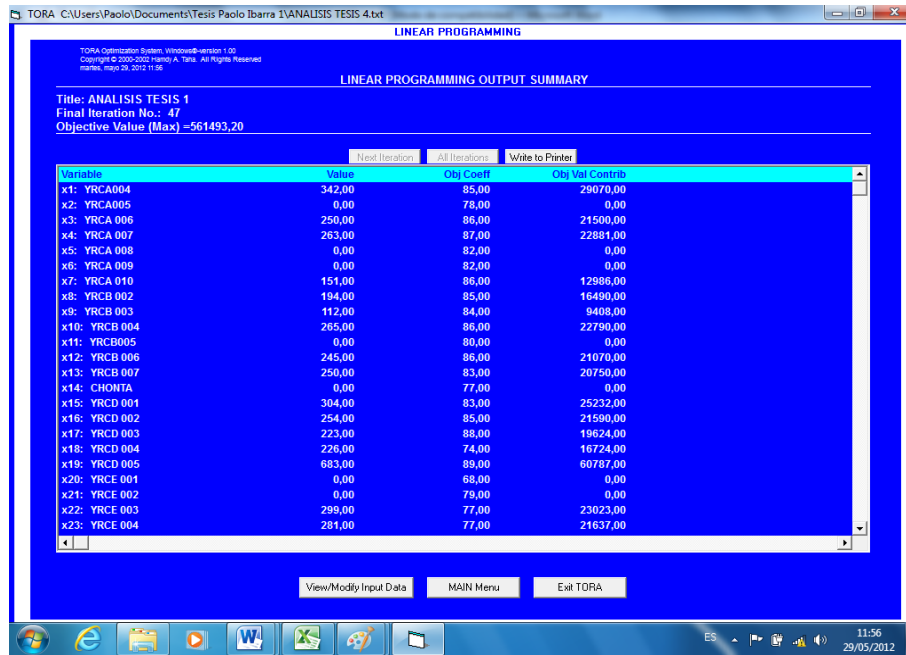


Figura 60. Pantalla 1 desplegada con resolución de problema planteado en programación lineal.

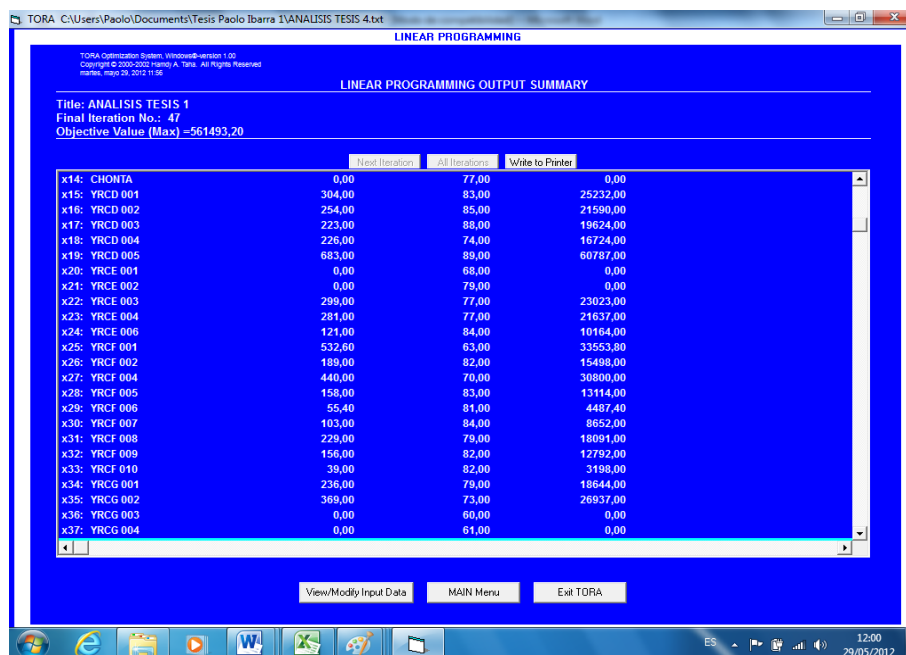


Figura 61. Pantalla 2 con resumen de resultados de problema planteado en programación lineal.

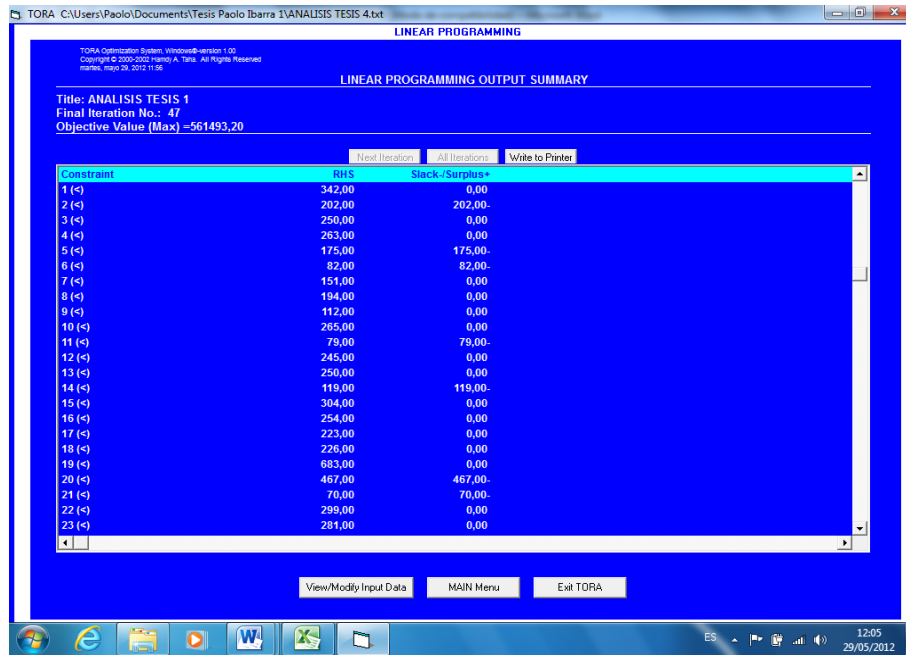


Figura 62. Pantalla 3 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal “TORA”.



Figura 63. Pantalla 4 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal. “TORA”.



Figura 64. Pantalla 5 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal "TORA".



Figura 65. Pantalla 6 con resultados obtenidos en ejecución de software de programación lineal "TORA".

**TABLA 45. SUMARIO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA**

**Title: ANÁLISIS TESIS 1**

**Final iteration No: 47**

**Objective value (max) =561493.2**

**\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\***

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	532,60	63,00	33553,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	55,40	81,00	4487,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<)	342,00	0,00
2 (<)	202,00	202,00-
3 (<)	250,00	0,00
4 (<)	263,00	0,00
5 (<)	175,00	175,00-
6 (<)	82,00	82,00-
7 (<)	151,00	0,00
8 (<)	194,00	0,00
9 (<)	112,00	0,00
10 (<)	265,00	0,00
11 (<)	79,00	79,00-
12 (<)	245,00	0,00
13 (<)	250,00	0,00
14 (<)	119,00	119,00-
15 (<)	304,00	0,00
16 (<)	254,00	0,00
17 (<)	223,00	0,00
18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	16,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	111,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23808,00	0,00

---

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00
x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	321,50	619,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	235,09	734,18	24,80
4 (<)	263,00	235,67	401,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	110,00	243,33	12,20
8 (<)	194,00	170,57	378,67	16,60
9 (<)	112,00	79,20	222,80	12,00
10 (<)	265,00	246,78	819,00	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	224,50	522,00	19,40
13 (<)	250,00	168,00	319,25	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	249,33	383,14	7,40
16 (<)	254,00	130,00	315,56	5,80
17 (<)	223,00	199,57	407,67	19,60
18 (<)	226,00	211,09	710,18	12,80
19 (<)	683,00	666,60	1215,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	271,67	437,50	6,80
23 (<)	281,00	253,67	419,50	6,80
24 (<)	121,00	9,40	176,40	3,00
25 (<)	549,00	532,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	174,09	673,18	20,80
27 (<)	440,00	423,60	972,60	7,00
28 (<)	158,00	139,78	712,00	18,20
29 (<)	167,00	55,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	79,57	287,67	15,60
31 (<)	229,00	212,60	761,60	16,00
32 (<)	156,00	132,57	340,67	13,60
33 (<)	39,00	0,00	94,40	1,00
34 (<)	236,00	215,50	513,00	12,40
35 (<)	369,00	352,60	901,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6485,82	6984,91	61,20
39 (<)	23808,00	23644,00	24924,00	1,80



## 4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.3.1 SUMARIO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

Es el sumario que será de más utilidad en el presente trabajo. En la primera parte del “Final Solution”, encontramos:

- El título del problema, que en nuestro caso es ANÁLISIS TESIS 1.
- El número de iteraciones que se realizaron antes de resolver el problema, en este caso fueron 47.
- El valor de la función objetivo, que en este caso estará expresado en US\$. En el presente ejemplo el valor es US\$ 561493.2 Es decir que la empresa al tomar la decisión de producir solo 6970 BPPD y máximo 23808 BAPD **la máxima ganancia** que puede obtener en el día cumpliendo estas condiciones es de **US\$ 561493.20** Si comparamos este valor con el obtenido en el punto 3.8. en donde la decisión fue tomada empíricamente, el cual fue **US\$ 532610.78** podemos ver que **el ahorro es de US\$ 28882.42** en ese día.

En la segunda parte del sumario de la solución FINAL encontramos 5 columnas:

- La primera columna indica el nombre de la variable, es decir el nombre de los pozos.
- La segunda columna nos indica “la producción que debe tener cada pozo para cumplir la función objetivo”. Así tenemos que: el pozo YRCA A 004 vemos que su producción debe producir su máximo potencial que es de 342 BPPD, YRCA 005 debe apagarse, YRCA 006 debe producir lo máximo de 250 BPPD, YRCA 007 su máximo de 263 BPPD, YRCA 008 debe apagarse, YRCA 009 debe apagarse, YRCA 010 debe producir 151 BPPD, YRCB 002 su máximo de 194 BPPD, YRCB 003 su máximo de 112 BPPD, YRCB 004 su máximo de 265 BPPD, YRCB 005 debe apagarse, YRCB 006 su máximo de 245

BPPD, YRCB 007 su máximo de 250 BPPD, Chonta debe apagarse, YRCD 001 debe producir su máximo de 304 BPPD, YRCD 002 debe producir su máximo de 254 BPPD, YRCD 003 su máximo de 223 BPP, YRCD 004 su máximo de 226 BPPD, YRCD 005 su máximo de 683 BPPD, YRCE 001 debe apagarse, YRCE 002 debe apagarse, YRCE 003 debe producir su máximo de 299 BPPD, YRCE 004 debe producir su máximo de 281 BPPD, YRCE 006 su máximo de 121 BPPD, YRCF 001 debe restringir su producción a 532.60 BPPD (su potencial máximo es de 549 BPPD), YRCF 002 su máximo de 189 BPPD, YRCF 004 debe producir su máximo de 440 BPPD, YRCF 005 su máximo de 158 BPPD, YRCF 006 debe reducir su producción a 55.40 BPPD (su potencial máximo es de 167 PPD) , YRCF 007 su máximo de 103 BPPD, YRCF 008 su máximo de 229 BPPD, YRCF 009 su máximo de 156 BPPD, YRCF 0010 su máximo de 39 BPPD, YRCG 001 su máximo de 236 BPPD, YRCG 002 su máximo de 369 BPPD, YRCG 003 debe apagarse y por último YRCG 004 también debe apagarse.

- En la tercera columna aparecen los coeficientes de la función objetivo que ingresamos al inicio del problema.
- En la cuarta columna se puede apreciar cuanto de dinero aporta cada pozo a la función objetivo. Así por ejemplo vemos que el pozo YRCA 004 aportará con US\$ 29070 al final del día a la función objetivo. Si sumamos los aportes de cada pozo obtendremos el valor de la función objetivo.

En la tercera parte del sumario de la solución óptima tenemos 4 columnas:

- La primera columna presenta el número de las restricciones.
- En la segunda columna se presenta el lado derecho actual de las inequaciones del problema (RHS).

- La tercera columna nos indica si el recurso es “abundante” o “escaso”. Un recurso es escaso si está consumido en su totalidad, es decir su holgura está en 0. Un recurso es abundante si no ha sido consumido en su totalidad, es decir su holgura es mayor que 0. Así por ejemplo tenemos el pozo YRCA 005 es un recurso abundante y puedo producir de él hasta 202 BPPD adicionales, en cambio el pozo YRCA 004 es un recurso escaso ya que se está produciendo de él todo su potencial (342 BPPD).

En la cuarta parte del sumario de la solución óptima tenemos el “análisis de sensibilidad” en donde:

- La primera columna representa a las variables del problema que en este caso son todos los pozos del campo Yuralpa Bloque 21.
- La segunda columna representan los coeficientes de la función objetivo.
- La tercera columna representa el valor mínimo que puede tomar el coeficiente de la función objetivo para el cálculo determinado.
- La cuarta columna será el valor máximo que toma el coeficiente de la función objetivo para MAXIMIZAR la ganancia.
- En la quinta columna podemos apreciar el valor en US\$/ BL que se reduce en la función objetivo al no producir los pozos que están apagados. Esto es lo que se llama “Costo Reducido”.

En la quinta parte del sumario se observa:

- En la primera columna representa el número de las restricciones.
- La segunda columna expresa el lado derecho de las restricciones para cada caso.

- La tercera y cuarta columna expresan los valores del rango mínimo y máximo que pueden tomar las RHS sin que afecte el “precio dual”.
- La quinta columna “Dual Price”, nos indica en el caso de los recursos escasos, cuantos dólares se incrementaría la función objetivo por cada barril extra que yo pudiera producir de un pozo escaso. Así por ejemplo el pozo YRCA 004 que es un recurso escaso, si yo pudiera incrementar su producción en 1 barril, es decir 343 BPPD, la función objetivo incrementaría US\$ 18.40, esto se puede corroborar realizando una nueva corrida del problema, cambiando el RHS de la inecuación correspondiente a YRCA 004 a 343, se puede ver entonces que el valor maximizado de la función objetivo aumenta exactamente US\$ 18.40.

Algo curioso que podemos apreciar también es en el caso de la restricción número 39, que corresponde a la cantidad máxima de agua que deseamos producir, vemos que también tiene precio dual, es decir por cada barril de agua extra que yo pudiera producir, puedo incrementar el valor de la función objetivo en US\$ 1.80, esto es lógico ya que por cada barril de agua que yo pudiere producir extra, puedo producir también algo de petróleo en pozos con bajo costo reducido.

Veamos el ejemplo, incrementando el valor máximo de agua que puedo producir a 23818 BAPD, la tabla siguiente nos muestra que el valor de la función objetivo ha incrementado en US\$ 18 , es decir 10 veces 1.80, vemos que las producciones de los pozos varían ligeramente.

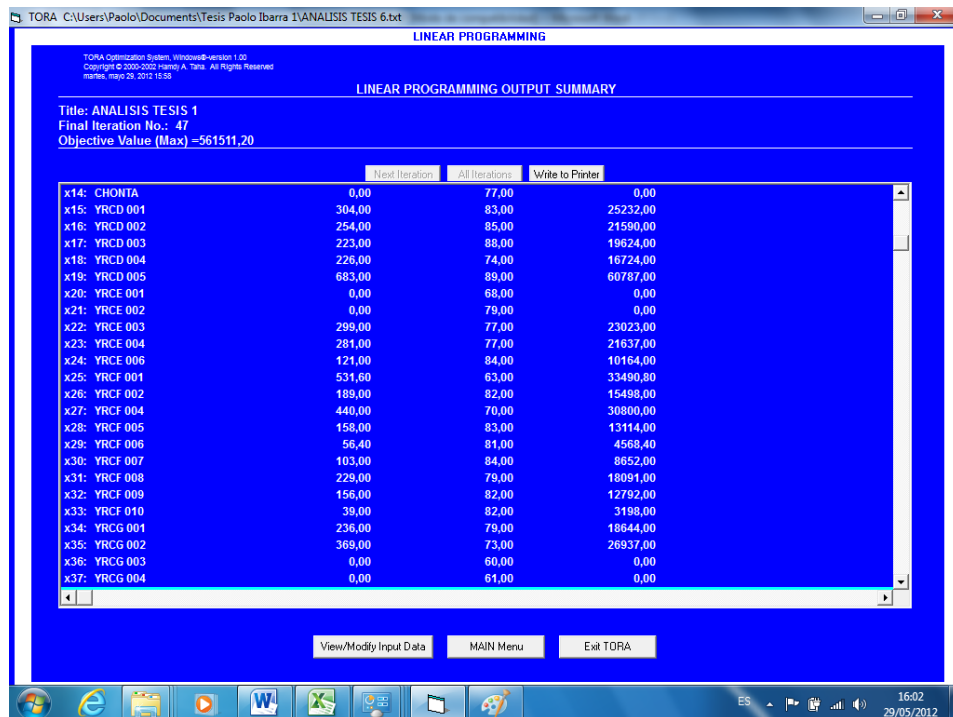


Figura 66. Pantalla 1 con resultados obtenidos con el incremento de volumen de agua de Inyección a 23818 BAPD en el programa "TORA".

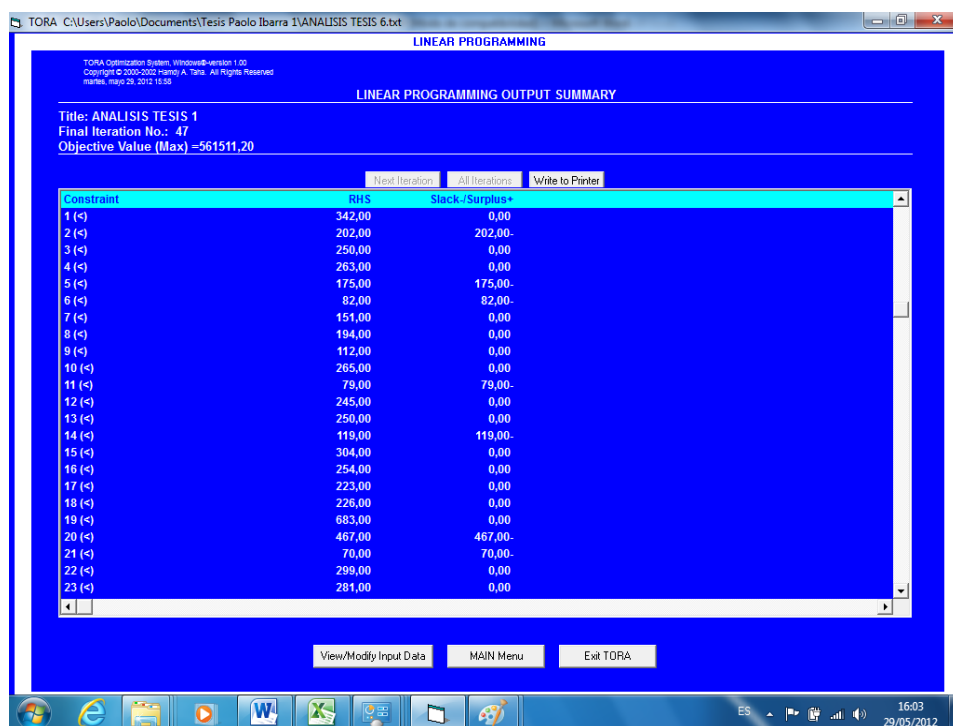


Figura 67. Pantalla 2 de resultados obtenidos con el incremento de volumen de inyección de 23818 BAPD en el programa "TORA".

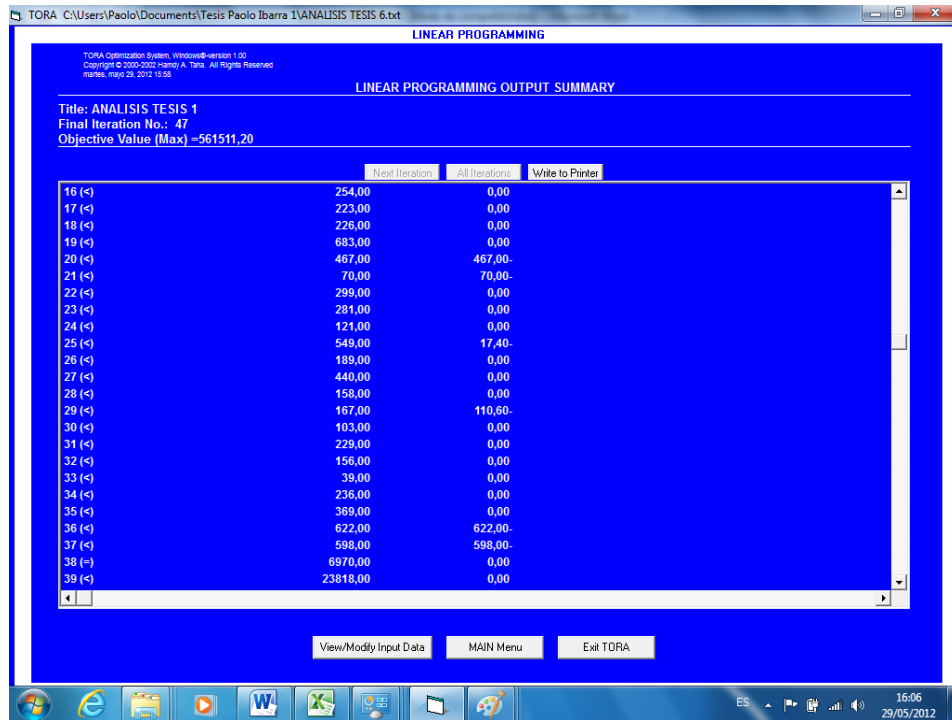


Figura 68. Pantalla 3 que muestra resultados obtenidos al incrementar el volumen de inyección a 23818 BAPD en el programa “TORA”.

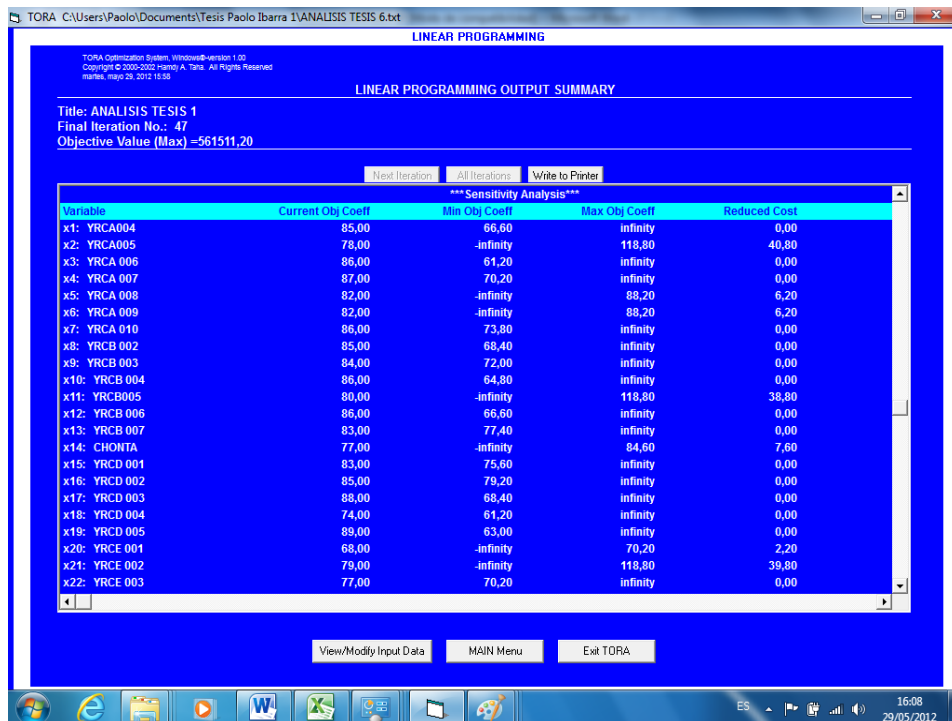


Figura 69. Pantalla 4 con resultados obtenidos al incrementar el volumen de inyección a 23818 BAPD en programa de optimización lineal “TORA”

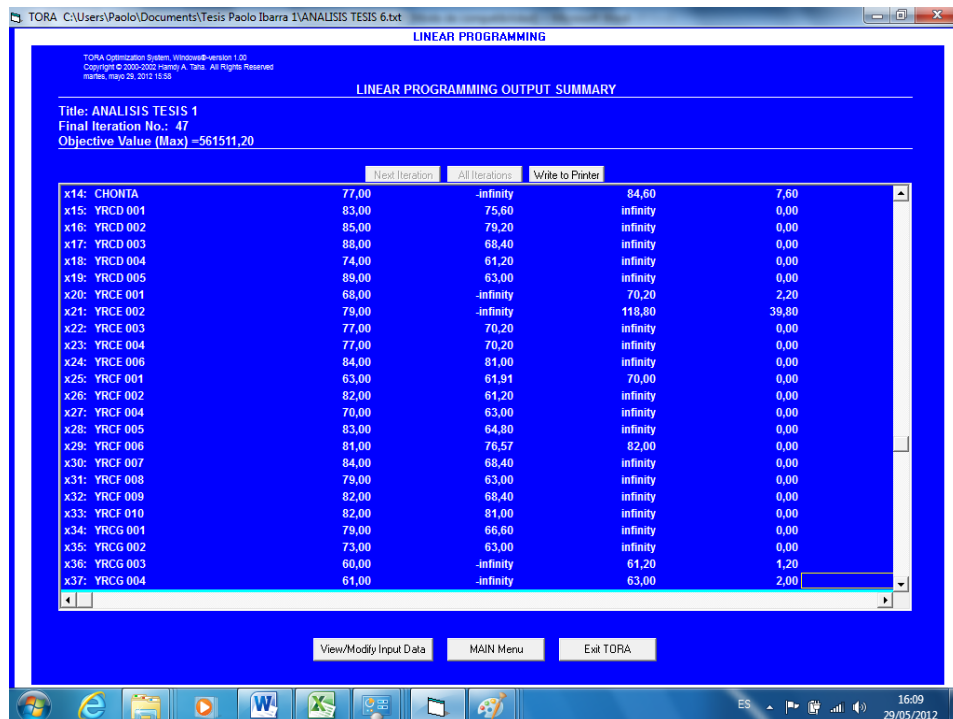
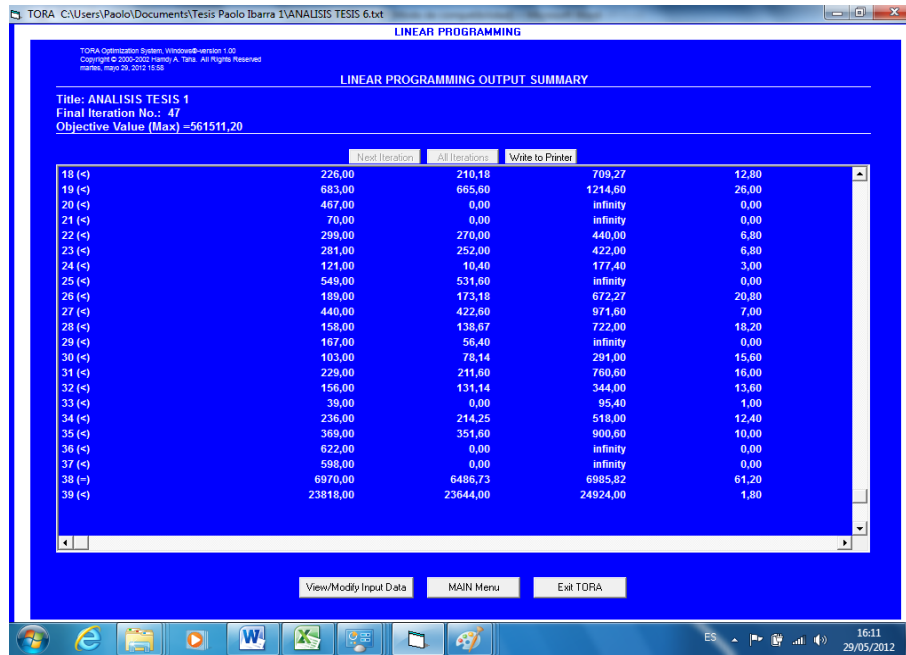


Figura 70. Pantalla 5 con resultados obtenidos en corrida de programa de optimización lineal al incrementar el volumen de inyección a 23818 Barriles en programa “TORA”.



Figura 71. Pantalla 6 con resultados obtenidos en corrida de programa de Optimización lineal al incrementar volumen de inyección a 23818 barriles en programa “TORA”.



**Figura 72.** Pantalla 7 con resultados obtenidos al realizar incremento de inyección y la respectiva corrida del análisis en programación lineal en programa “TORA”.



**Tabla 46. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD**

**Title: ANALISISTESIS1**

**Final iteration No: 47**

**Objective value (max) =561511.2**

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561511.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	531,60	63,00	33490,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	56,40	81,00	4568,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561511.2

---

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<=)	342,00	0,00
2 (<=)	202,00	202,00-
3 (<=)	250,00	0,00
4 (<=)	263,00	0,00
5 (<=)	175,00	175,00-
6 (<=)	82,00	82,00-
7 (<=)	151,00	0,00
8 (<=)	194,00	0,00
9 (<=)	112,00	0,00
10 (<=)	265,00	0,00
11 (<=)	79,00	79,00-
12 (<=)	245,00	0,00
13 (<=)	250,00	0,00
14 (<=)	119,00	119,00-
15 (<=)	304,00	0,00
16 (<=)	254,00	0,00
17 (<=)	223,00	0,00
18 (<=)	226,00	0,00
19 (<=)	683,00	0,00
20 (<=)	467,00	467,00-
21 (<=)	70,00	70,00-
22 (<=)	299,00	0,00
23 (<=)	281,00	0,00
24 (<=)	121,00	0,00
25 (<=)	549,00	17,40-
26 (<=)	189,00	0,00
27 (<=)	440,00	0,00
28 (<=)	158,00	0,00
29 (<=)	167,00	110,60-
30 (<=)	103,00	0,00
31 (<=)	229,00	0,00
32 (<=)	156,00	0,00
33 (<=)	39,00	0,00
34 (<=)	236,00	0,00
35 (<=)	369,00	0,00
36 (<=)	622,00	622,00-
37 (<=)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<=)	23818,00	0,00

---

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561511.2

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00
x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561511.2

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<=)	342,00	320,25	624,00	18,40
2 (<=)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<=)	250,00	234,18	733,27	24,80
4 (<=)	263,00	234,00	404,00	16,80
5 (<=)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<=)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<=)	151,00	107,50	245,00	12,20
8 (<=)	194,00	169,14	382,00	16,60
9 (<=)	112,00	77,20	224,80	12,00
10 (<=)	265,00	245,67	829,00	21,20
11 (<=)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<=)	245,00	223,25	527,00	19,40
13 (<=)	250,00	163,00	320,50	5,60
14 (<=)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<=)	304,00	246,00	384,57	7,40
16 (<=)	254,00	131,11	316,67	5,80
17 (<=)	223,00	198,14	411,00	19,60
18 (<=)	226,00	210,18	709,27	12,80
19 (<=)	683,00	665,60	1214,60	26,00
20 (<=)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<=)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<=)	299,00	270,00	440,00	6,80
23 (<=)	281,00	252,00	422,00	6,80
24 (<=)	121,00	10,40	177,40	3,00
25 (<=)	549,00	531,60	infinity	0,00
26 (<=)	189,00	173,18	672,27	20,80
27 (<=)	440,00	422,60	971,60	7,00
28 (<=)	158,00	138,67	722,00	18,20
29 (<=)	167,00	56,40	infinity	0,00
30 (<=)	103,00	78,14	291,00	15,60
31 (<=)	229,00	211,60	760,60	16,00
32 (<=)	156,00	131,14	344,00	13,60
33 (<=)	39,00	0,00	95,40	1,00
34 (<=)	236,00	214,25	518,00	12,40
35 (<=)	369,00	351,60	900,60	10,00
36 (<=)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<=)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6486,73	6985,82	61,20
39 (<=)	23818,00	23644,00	24924,00	1,80

### 4.3.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

La primera parte del sumario de “sensitivity análisis” se refiere a los cambios que se pueden realizar en los coeficientes de la Función Objetivo, “sin que cambien los valores de costo reducido”, pero si variará el valor de la Función Objetivo. Así por ejemplo el coeficiente  $C_{14}$  de la variable  $X_{14}$  (que corresponde al pozo Chonta) puede variar entre menos infinito y 84.60 sin que variara su costo reducido encontrado en esta corrida. Es decir, si lográramos incrementar la ganancia por barril en este pozo a valores superiores a US\$ 84.60, apagar este pozo ya no sería un ahorro. Esto se puede comprobar fácilmente si cambiamos el coeficiente  $C_{14}$  a 86 por ejemplo, realizamos la corrida del software y vemos que el pozo Chonta ya no debe estar apagado sino produciendo 78.67 BPPD.

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCA 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCA 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCA 004	265,00	85,00	22790,00
x11: YRCA005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCA 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCA 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	78,67	86,00	6765,33
x15: YRCA 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCA 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCA 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCA 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCA 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCA 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCA 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCA 003	289,00	77,00	23023,00
x23: YRCA 004	281,00	77,00	21637,00

**Figura 73.** Pantalla con resumen de datos obtenidos al realizar nueva corrida de optimización lineal para el pozo Chonta.

La segunda parte del análisis de sensibilidad, se refiere a los cambios que se pueden realizar en el lado derecho de las restricciones (RHS), sin que cambie el valor de “Precio Dual”. Así por ejemplo en el pozo YRCA 004, el lado derecho de la inecuación (es decir la producción de petróleo del pozo)

puede variar entre valores mayores a 321.50 y menores a 619 BPPD sin que cambie su "Precio Dual". De igual manera para los otros pozos que tienen sus límites definidos entre cero e infinito en algunos casos.

#### **4.4. OTRAS CORRIDAS**

##### **4.4.1. CORRIDA 1**

Basados en la primera corrida vamos ahora a tomar decisiones con el objeto de incrementar más la función objetivo. Supongamos por restricción de bombeo, la tasa máxima de crudo que se nos permitirá producir es de 6970 BPPD durante un tiempo indeterminado y adicionalmente también tengo problemas en la reinyección de agua y no podré inyectar más de 23808 BAPD. Sé también que si logro inyectar más agua puedo mejorar mi función objetivo, pero en el análisis de sensibilidad vemos que más allá de 24924 BAPD ya no habrá precio dual para el agua, así que trabajaré en optimizar el sistema de reinyección de agua, entonces realizo un cambio en el RHS de la última restricción del análisis a  $\leq 24924$ , entonces la solución óptima será:

**Tabla 47. RESULTADOS DE LA CORRIDA 1**

**\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\***

**Title: ANALISIS TESIS 1**

**Final iteration No: 46**

**Objective value (max) =563502**

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 563502

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	421,00	63,00	26523,00
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	167,00	81,00	13527,00
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 563502

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<)	342,00	0,00
2 (<)	202,00	202,00-
3 (<)	250,00	0,00
4 (<)	263,00	0,00
5 (<)	175,00	175,00-
6 (<)	82,00	82,00-
7 (<)	151,00	0,00
8 (<)	194,00	0,00
9 (<)	112,00	0,00
10 (<)	265,00	0,00
11 (<)	79,00	79,00-
12 (<)	245,00	0,00
13 (<)	250,00	0,00
14 (<)	119,00	119,00-
15 (<)	304,00	0,00
16 (<)	254,00	0,00
17 (<)	223,00	0,00
18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	128,00-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	0,00
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	24924,00	0,00

---



LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 563502

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00
x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

## LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 563502

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	342,00	868,25	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	133,64	250,00	24,80
4 (<)	263,00	263,00	680,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	151,00	429,33	12,20
8 (<)	194,00	194,00	750,67	16,60
9 (<)	112,00	112,00	446,00	12,00
10 (<)	265,00	265,00	732,78	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	245,00	771,25	19,40
13 (<)	250,00	250,00	458,75	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	304,00	542,57	7,40
16 (<)	254,00	254,00	439,56	5,80
17 (<)	223,00	223,00	779,67	19,60
18 (<)	226,00	109,64	226,00	12,80
19 (<)	683,00	555,00	1104,00	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	299,00	716,50	6,80
23 (<)	281,00	281,00	698,50	6,80
24 (<)	121,00	121,00	288,00	3,00
25 (<)	549,00	421,00	infinity	0,00
26 (<)	189,00	72,64	189,00	20,80
27 (<)	440,00	312,00	861,00	7,00
28 (<)	158,00	158,00	625,78	18,20
29 (<)	167,00	167,00	infinity	0,00
30 (<)	103,00	103,00	659,67	15,60
31 (<)	229,00	101,00	650,00	16,00
32 (<)	156,00	156,00	712,67	13,60
33 (<)	39,00	39,00	206,00	1,00
34 (<)	236,00	236,00	762,25	12,40
35 (<)	369,00	241,00	790,00	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6970,00	7086,36	61,20
39 (<)	24924,00	23644,00	24924,00	1,80

Vemos que tan solo con lograr inyectar 1116 barriles más de agua cada día, lograremos ganar un extra diario de US\$ 2008.8. Sobre esta producción de agua ya el Precio dual (1.8USD/Bbl) para esta restricción baja mucho, si corremos el ejemplo con 24926 BAPD veremos que el Precio Dual es de 1.31, es decir es menor que el máximo valor optimizado al inyectar 24924 BAPD por más que incremente la inyección de agua (con la condición de que solo puedo producir 23808 BPPD vigente) sobre los 24924 BAPD la ganancia será mínima de acuerdo a la Función Objetivo.

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value (Max) = -563504.71 -- Alternative solution(s) detected (enter ITERATIONS mode to determine such solutions)

x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,44	82,00	11,71
x7: YRCA 010	151,00	85,00	12885,00
x8: YRCB 002	184,00	85,00	16480,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9488,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22780,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00

**Figura 74.** Pantalla con datos de optimización lineal para la corrida 1.

Una última corrida cambiando el RHS de la última restricción a 24926 BAPD (el potencial de agua) como se observa en la corrida realizada el aporte diario es de apenas **2.71 USD/DÍA** en la función objetivo. Hay que considerar que el gasto de energía que se tendrá que realizar para poder inyectar los 24926 BAPD será mayor, así que por el momento, mientras no nos permitan subir la producción más allá de los 6970 BPPD, no es prioridad la inyección más allá de los 24924 BAPD.

#### 4.4.2. CORRIDA 2

Con las mismas restricciones de producción de crudo y agua anteriores, realizamos una evaluación de la cantidad de químico que se está inyectando en el pozo YRCA 006 y determinamos que ya no es necesario inyectar clarificante (1.67Glns/día) y que debemos suspender el químico biocida XC 14350, con esto el precio por barril del pozo YRCA 006 llega a valer de US\$ 86.19 el barril a US\$ 87.72. Hemos notado además que el pozo YRCD 005 tiene un excelente “Dual Price”, así que se ha vuelto a retapear el transformador de salida con el objeto de incrementar la producción del pozo de 683 a 783 BPPD. Volvemos a correr el software con los nuevos datos y tenemos el siguiente resultado:

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
Final Iteration No.: 46  
Objective Value (Max) =564343.20

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	75,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	87,00	21750,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	783,00	89,00	69687,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	289,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00

Figura 75. Pantalla con datos de optimización lineal al realizar la corrida 2.

**Tabla 48. RESULTADOS DE LA CORRIDA 2**

**\*\*\* OPTIMUM SOLUTION SUMMARY \*\*\***

**Title: ANALISIS TESIS 1**

**Final iteration No: 46**

**Objective value (max) =564343.2**

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 564343.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	87,00	21750,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	783,00	89,00	69687,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	432,60	63,00	27253,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	55,40	81,00	4487,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 564343.2

---

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<)	342,00	0,00
2 (<)	202,00	202,00-
3 (<)	250,00	0,00
4 (<)	263,00	0,00
5 (<)	175,00	175,00-
6 (<)	82,00	82,00-
7 (<)	151,00	0,00
8 (<)	194,00	0,00
9 (<)	112,00	0,00
10 (<)	265,00	0,00
11 (<)	79,00	79,00-
12 (<)	245,00	0,00
13 (<)	250,00	0,00
14 (<)	119,00	119,00-
15 (<)	304,00	0,00
16 (<)	254,00	0,00
17 (<)	223,00	0,00
18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	783,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	116,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	111,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23808,00	0,00

---

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

---

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 564343.2

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	87,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00
x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 564343.2

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	196,50	619,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	144,18	643,27	25,80
4 (<)	263,00	69,00	401,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	0,00	243,33	12,20
8 (<)	194,00	27,71	378,67	16,60
9 (<)	112,00	0,00	222,80	12,00
10 (<)	265,00	135,67	745,67	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	99,50	522,00	19,40
13 (<)	250,00	110,50	319,25	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	144,57	383,14	7,40
16 (<)	254,00	130,00	315,56	5,80
17 (<)	223,00	56,71	407,67	19,60
18 (<)	226,00	120,18	619,27	12,80
19 (<)	783,00	666,60	1215,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	105,00	437,50	6,80
23 (<)	281,00	87,00	419,50	6,80
24 (<)	121,00	9,40	176,40	3,00
25 (<)	549,00	432,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	83,18	582,27	20,80
27 (<)	440,00	323,60	872,60	7,00
28 (<)	158,00	28,67	638,67	18,20
29 (<)	167,00	55,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	0,00	287,67	15,60
31 (<)	229,00	112,60	661,60	16,00
32 (<)	156,00	0,00	340,67	13,60
33 (<)	39,00	0,00	94,40	1,00
34 (<)	236,00	90,50	513,00	12,40
35 (<)	369,00	252,60	801,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6576,73	7075,82	61,20
39 (<)	23808,00	23254,00	24924,00	1,80

Se observa un incremento de la cantidad de **US\$ 2850** diarios en la “Función Objetivo” al realizar los cambios propuestos.



## **CAPITULO 5.**

### **5.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

- En la actualidad es necesario realizar procesos de optimización como el desarrollado de la presente tesis buscando maximizar las ganancias de la empresa o lo que es lo mismo minimizar las pérdidas de la misma.
- La modelación realizada tiene como base el conocimiento cabal y la experiencia necesaria en las fases de producción y explotación de hidrocarburos dentro de la industria.
- El involucramiento directo durante varios años en los procesos de extracción y producción de petróleo ha hecho que el manejo de la información para la realización del proyecto sea muy confiable.
- Con la ayuda de un experto en el tema, se determinó el método para poder agrupar los costos necesarios y poder diseñar el modelo matemático de la presente tesis.
- El modelo matemático susceptible de resolver por programación lineal fue realizado con éxito, lo que permitirá optimizar la toma de decisiones cuando se requiere parar o restringir la producción de pozos en el campo Yuralpa Bloque 21.
- Fue necesario realizar la búsqueda e investigación necesaria para encontrar el Software apropiado para la modelación matemática; en efecto, se realizaron varias corridas con el software inicial "TORA" que data del año 1991, encontrándome con el limitante de que el mismo no resolvía un modelo matemático en programación lineal con más de 20 restricciones. Luego de varias semanas de búsqueda encontré en

el internet el software de programación lineal “TORA” versión 2002 que presenta un amplio espectro y que se constituye en un modelo muy eficaz para la resolución del modelo planteado.

- El esquema para la recopilación de la información y la determinación de las diferentes formas que se incluyen en el modelo fue consultada en otros trabajos de investigación realizados; sin embargo el modelo de optimización en programación lineal es único y desarrollado para el campo Yuralpa Bloque 21.
- De acuerdo a las necesidades en las diferentes empresas los Ingenieros que deseen correr este modelo deberán realizar las modificaciones acordes a las mismas.
- El programa utilizado nos muestra el análisis de la solución óptima y nos informa con exactitud las mejores decisiones que se deben tomar para “minimizar la perdida y maximizar la ganancia para la empresa”.
- Los resultados obtenidos nos permiten tener un análisis de sensibilidad que presenta varias opciones de mejora para maximizar la ganancia.
- El programa de optimización lineal es aplicable a cualquier empresa.
- El modelo matemático ha sido empleado en varias empresas con éxito.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- El uso de esta gran herramienta en las diferentes etapas de la producción puede aportar una valiosa ayuda para optimizar los recursos con que se cuenta.
- La capacitación en el manejo de este tipo de herramientas permitirá realizar el análisis de situaciones reales en momentos críticos para

que la información que se obtenga permita mantener un pronóstico real de los eventos minimizando perdidas dentro de las empresas.

- Considero importante recomendar que la materia de “Investigación de Operaciones” que abarca el tema desarrollado en la presente tesis, sea tomada en cuenta dentro de las carreras de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial en aras de entregar a los estudiantes de niveles superiores una valiosa herramienta de análisis y resultados en cualquier ámbito de la industria. El programa de Optimización Lineal “TORA” puede ser ampliamente utilizado en definiciones que permitirán ahorrar recursos y realizar análisis de valioso aporte a las empresas.
- Tanto estudiantes de niveles superiores universitarios como profesionales de las diferentes áreas pueden aplicar el modelo de “Optimización Lineal” en sus ámbitos de desarrollo.

## **NOMENCLATURA O GLOSARIO**

BAPD	Barriles de agua por día.
BES	Bombeo Eléctrico Sumergible.
BIPD	Barriles de inyección por día.
BFPD	Barriles de fluido por día.
BPPD	Barriles de petróleo por día.
BS&W	Básic sediments and water.
BT	Basal Tena.
BTU	British Thermal Unit.
CPF	Central Production Facilities.
ESP	Electric Sumersible Pump.
° F	Grados Farenheit.
FE	Elemento de flujo.
FT	Transmisor de flujo.
FIT	Transmisor indicador de flujo.
GOR	Gas Oil Relation.
H	Heater.
HI	Hollín inferior.
HP	Hollín principal.
HS	Hollín Superior.
Hz	Hertz.
KVA	Kilo Voltio Amperio.
KW	Kilowatts.
LACT	Lease Automatic Custody Transfer.

MH	Main Hollín.
MSCF	Millions of Standard Cubic Feet.
MTBF	Mean Time Before Failure
MMBTU	Millones de BTU.
Pc	Presión de Cabeza.
PI	Indicador de Presión
Piny	Presión de Inyección.
PIT	Transmisor indicador de presión.
PL	Programación Lineal.
Ppm	Partes por millón.
Psig	Pounds per square inch gauge.
PSHH	Swich de alta - alta presión.
PSLL	Swich de baja - baja presión.
PSV	Válvula de seguridad de presión.
PV	Válvula de presión.
PVSV	Válvula de presión y vacio.
RHS	Right Hand Side.
SOTE	Sistema de Oleoducto Transecuatoriano.

T	Tanque
TORA	Marca de un software de Programación Lineal.
V	Voltios.
V	Vessel.
WELLPAD	Plataforma constituida por varios de pozos.
WO	Work Over.
WTI	Western Texas Intermediate.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arnold, K, (2001). **Surface Production Operations**, Vol 1. USA: Curso.
- Baker Hughes Inc,(2002). **INTRODUCTION TO WIRELINE LOG ANALYSIS**. Houston: Baker Hughes.
- BAKER HUGHES Centrilift, (2003). **ESP APPLICATION COURSE**, Quito: Centrilift Education Development Center.
- BAKER HUGHES Centrilift, (2004). **VSD / ESP**. Quito: Centrilift Education Development Center.
- BAKER HUGHES Centrilift, (2011).”**OPTIMIZACIÓN DE POZOS “ANÁLISIS WORKBENCH” LOWIS**. Quito: Centrilift Education Development Center.
- Craft, C., Hawkins, F. (1975), **APPLIED PETROLEUM RESERVOIR ENGINEERING**, USA.
- Champion Technologies Inc., (2000). **OIL FIELD CORROSION DETECTION AND CONTROL HANDBOOK**. Texas
- Data Consulting Services Ecuador, (2001). **ASPECTOS DE YACIMIENTOS DE CRUDOS PESADOS**. Quito: Schumberger
- Diario EL COMERCIO, 2012. **ARTÍCULO DE ECONOMÍA PUBLICADO EL 16/02/2012**. Quito: El Comercio.
- Dyadem Engineering Corporation – REPSOL YPF, (2.002). **PROCESS HAZARDS ANALYSIS, HAZARDS IDENTIFICATION & RISK ANALYSIS**, Quito: D.E.C.
- E. E. Lewis.,(1994). **INTRODUCTION TO RELIABILITY ENGINEERING**, Chapt 8, New York: Wiley and Sons, Second edition.
- Handy A. Taha, (1995). **INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES**. México: Alfa Omega Editor.

- Hernández, G., **Perforación- Perfiles Eléctricos**. Recuperado el 27 de Marzo del 2012 de <http://gustato.com/petroleo/Petroleo2.html>
- Howard B. Bradley y otros, (1987). **PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK**. Texas: SPE.
- James W. Amyx y otros,(1960). **PETROLEUM RESERVOIR ENGINEERING**. New York: McGraw-Hill, Inc.
- KERRMCGEE Ecuador Energy Corporation ,2003,**Plan de desarrollo Bloque 21**. Quito: n.d.
- Melo Vinicio, (2007). **SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN CAMPOS PETROLEROS**. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Michael Economides y otros, (1994). **PETROLEUM PRODUCTION SYSTEMS**. New Jersey: Prentice Hall.
- Solis M. Manuel,(2006). **TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**. Riobamba: n.d.
- Schlumberger, (1990). OLFIELD REVIEW. Houston: James M. Kent.
- Universidad Tecnológica Equinoccial,(2003). **NUEVAS ALTERNATIVAS EN TECNOLÓGICAS PETROLERAS**, Quito: II Simposio.
- Universidad Tecnológica Equinoccial, (1995). **GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO**. Quito: Seminario.
- Ushiña Angel, **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL**. Recuperado el 04 de Abril del 2012 de:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/970/1/CD-1273.pdf>
- Well Vision, **Petróleo para Dentro de 30 Años**. Recuperado el 03-Marzo del 2012 de <http://weltnx.blogspot.com/2009/02/petroleo-para-dentro-de-30-anos.html>
- William D. McCain, Jr. (1990). **PROPERTIES OF PETROLEUM FLUIDS**. Tulsa, Oklahoma: Penwell Publishing Co.



# ANEXOS.

## ANEXO 1.

### IMPRESIÓN ORIGINAL DEL SUMARIO DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA CON DATOS INGRESADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS AL REALIZAR LA CORRIDA EN PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN LINEAL “TORA”

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00  
 Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
 martes, mayo 29, 2012 12:20

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00  
 Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
 martes, mayo 29, 2012 12:20

#### LINEAR PROGRAM -- ORIGINAL DATA

Title: ANALISIS TESIS 1

	YRCA00 x1	YRCA00 x2	YRCA 0 x3	YRCA 0 x4	YRCA 0 x5	YRCA 0 x6
<b>Maximize</b>	85,00	78,00	86,00	87,00	82,00	82,00
<b>Subject to</b>						
( 1)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	3,00	32,00	0,00	5,00	15,00	15,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCA 0 x7	YRCB 0 x8	YRCB 0 x9	YRCB 0 x10	YRCB00 x11	YRCB 0 x12
( 1)	86,00	85,00	84,00	86,00	80,00	86,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	7,00	4,00	6,00	2,00	32,00	3,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCB 0	CHONTA	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0
	x13	x14	x15	x16	x17	x18
	83,00	77,00	83,00	85,00	88,00	74,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

( 16)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 17)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
( 39)	9,00	13,00	8,00	10,00	4,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCD 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0
	x19	x20	x21	x22	x23	x24
	89,00	68,00	79,00	77,00	77,00	84,00
( 1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 19)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 20)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 21)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 22)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 23)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	5,00	32,00	5,00	5,00	11,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0
	x25	x26	x27	x28	x29	x30
	63,00	82,00	70,00	83,00	81,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

( 38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
( 39)	1,00	0,00	1,00	2,00	11,00	4,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCG 0	YRCG 0	YRCG 0
	x31	x32	x33	x34	x35	x36
	79,00	82,00	82,00	79,00	73,00	60,00
( 1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 31)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 32)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 33)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 34)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 35)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
( 39)	1,00	4,00	11,00	3,00	1,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCG 0					
	x37					
	61,00					
( 1)	0,00	<=	342,00			

(2)	0,00	≤	202,00
(3)	0,00	≤	250,00
(4)	0,00	≤	263,00
(5)	0,00	≤	175,00
(6)	0,00	≤	82,00
(7)	0,00	≤	151,00
(8)	0,00	≤	194,00
(9)	0,00	≤	112,00
(10)	0,00	≤	265,00
(11)	0,00	≤	79,00
(12)	0,00	≤	245,00
(13)	0,00	≤	250,00
(14)	0,00	≤	119,00
(15)	0,00	≤	304,00
(16)	0,00	≤	254,00
(17)	0,00	≤	223,00
(18)	0,00	≤	226,00
(19)	0,00	≤	683,00
(20)	0,00	≤	467,00
(21)	0,00	≤	70,00
(22)	0,00	≤	299,00
(23)	0,00	≤	281,00
(24)	0,00	≤	121,00
(25)	0,00	≤	549,00
(26)	0,00	≤	189,00
(27)	0,00	≤	440,00
(28)	0,00	≤	158,00
(29)	0,00	≤	167,00
(30)	0,00	≤	103,00
(31)	0,00	≤	229,00
(32)	0,00	≤	156,00
(33)	0,00	≤	39,00
(34)	0,00	≤	236,00
(35)	0,00	≤	369,00
(36)	0,00	≤	622,00
(37)	1,00	≤	598,00
(38)	1,00	=	6970,00
(39)	1,00	≤	23808,00

Lower Bound 0,00  
Upper Bound infinity  
Unrestr'd (y/n)? n

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	532,60	63,00	33553,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	55,40	81,00	4487,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<=)	342,00	0,00
2 (<=)	202,00	202,00-
3 (<=)	250,00	0,00
4 (<=)	263,00	0,00
5 (<=)	175,00	175,00-
6 (<=)	82,00	82,00-
7 (<=)	151,00	0,00
8 (<=)	194,00	0,00
9 (<=)	112,00	0,00
10 (<=)	265,00	0,00
11 (<=)	79,00	79,00-
12 (<=)	245,00	0,00
13 (<=)	250,00	0,00
14 (<=)	119,00	119,00-
15 (<=)	304,00	0,00
16 (<=)	254,00	0,00
17 (<=)	223,00	0,00

18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	16,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	111,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23808,00	0,00

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00



x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	321,50	619,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	235,09	734,18	24,80
4 (<)	263,00	235,67	401,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	110,00	243,33	12,20
8 (<)	194,00	170,57	378,67	16,60
9 (<)	112,00	79,20	222,80	12,00
10 (<)	265,00	246,78	819,00	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	224,50	522,00	19,40
13 (<)	250,00	168,00	319,25	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	249,33	383,14	7,40
16 (<)	254,00	130,00	315,56	5,80
17 (<)	223,00	199,57	407,67	19,60
18 (<)	226,00	211,09	710,18	12,80
19 (<)	683,00	666,60	1215,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	271,67	437,50	6,80
23 (<)	281,00	253,67	419,50	6,80
24 (<)	121,00	9,40	176,40	3,00
25 (<)	549,00	532,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	174,09	673,18	20,80
27 (<)	440,00	423,60	972,60	7,00
28 (<)	158,00	139,78	712,00	18,20
29 (<)	167,00	55,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	79,57	287,67	15,60
31 (<)	229,00	212,60	761,60	16,00
32 (<)	156,00	132,57	340,67	13,60
33 (<)	39,00	0,00	94,40	1,00
34 (<)	236,00	215,50	513,00	12,40
35 (<)	369,00	352,60	901,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6485,82	6984,91	61,20
39 (<)	23808,00	23644,00	24924,00	1,80

## ANEXO 2.

# IMPRESIÓN ORIGINAL DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON DATOS INGRESADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS AL REALIZAR SEGUNDA CORRIDA EN PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN LINEAL

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00  
 Copyright © 2000-2002 Haimo A. Taha. All Rights Reserved  
 marist, mayo 29, 2012 12:20

### LINEAR PROGRAM -- ORIGINAL DATA

Title: ANALISIS TESIS 1

	YRCA00 x1	YRCA00 x2	YRCA 0 x3	YRCA 0 x4	YRCA 0 x5	YRCA 0 x6
<b>Maximize</b>	85,00	78,00	86,00	87,00	82,00	82,00
<b>Subject to</b>						
( 1)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	3,00	32,00	0,00	5,00	15,00	15,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCA 0 x7	YRCB 0 x8	YRCB 0 x9	YRCB 0 x10	YRCB00 x11	YRCB 0 x12
	86,00	85,00	84,00	86,00	80,00	86,00
( 1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 7)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	7,00	4,00	6,00	2,00	32,00	3,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCB 0	CHONTA	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0
	x13	x14	x15	x16	x17	x18
	83,00	77,00	83,00	85,00	88,00	74,00
( 1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

(16)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	9,00	13,00	8,00	10,00	4,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCD 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0
	x19	x20	x21	x22	x23	x24
	89,00	68,00	79,00	77,00	77,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	5,00	32,00	5,00	5,00	11,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0
	x25	x26	x27	x28	x29	x30
	63,00	82,00	70,00	83,00	81,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	0,00	1,00	2,00	11,00	4,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCG 0	YRCG 0	YRCG 0
	x31	x32	x33	x34	x35	x36
	79,00	82,00	82,00	79,00	73,00	60,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	4,00	11,00	3,00	1,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCG 0					
	x37					
	61,00					
(1)	0,00	<=	342,00			

(2)	0,00	<=	202,00
(3)	0,00	<=	250,00
(4)	0,00	<=	263,00
(5)	0,00	<=	175,00
(6)	0,00	<=	82,00
(7)	0,00	<=	151,00
(8)	0,00	<=	194,00
(9)	0,00	<=	112,00
(10)	0,00	<=	265,00
(11)	0,00	<=	79,00
(12)	0,00	<=	245,00
(13)	0,00	<=	250,00
(14)	0,00	<=	119,00
(15)	0,00	<=	304,00
(16)	0,00	<=	254,00
(17)	0,00	<=	223,00
(18)	0,00	<=	226,00
(19)	0,00	<=	683,00
(20)	0,00	<=	467,00
(21)	0,00	<=	70,00
(22)	0,00	<=	299,00
(23)	0,00	<=	281,00
(24)	0,00	<=	121,00
(25)	0,00	<=	549,00
(26)	0,00	<=	189,00
(27)	0,00	<=	440,00
(28)	0,00	<=	158,00
(29)	0,00	<=	167,00
(30)	0,00	<=	103,00
(31)	0,00	<=	229,00
(32)	0,00	<=	156,00
(33)	0,00	<=	39,00
(34)	0,00	<=	236,00
(35)	0,00	<=	369,00
(36)	0,00	<=	622,00
(37)	1,00	<=	598,00
(38)	1,00	=	6970,00
(39)	1,00	<=	23808,00

Lower Bound 0,00  
Upper Bound infinity  
Unrestr'd (y/n)? n

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 47  
 Objective Value = 561493.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	532,60	63,00	33553,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	55,40	81,00	4487,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<=)	342,00	0,00
2 (<=)	202,00	202,00-
3 (<=)	250,00	0,00
4 (<=)	263,00	0,00
5 (<=)	175,00	175,00-
6 (<=)	82,00	82,00-
7 (<=)	151,00	0,00
8 (<=)	194,00	0,00
9 (<=)	112,00	0,00
10 (<=)	265,00	0,00
11 (<=)	79,00	79,00-
12 (<=)	245,00	0,00
13 (<=)	250,00	0,00
14 (<=)	119,00	119,00-
15 (<=)	304,00	0,00
16 (<=)	254,00	0,00
17 (<=)	223,00	0,00



18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	16,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	111,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23808,00	0,00

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00

x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	321,50	619,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	235,09	734,18	24,80
4 (<)	263,00	235,67	401,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	110,00	243,33	12,20
8 (<)	194,00	170,57	378,67	16,60
9 (<)	112,00	79,20	222,80	12,00
10 (<)	265,00	246,78	819,00	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	224,50	522,00	19,40
13 (<)	250,00	168,00	319,25	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	249,33	383,14	7,40
16 (<)	254,00	130,00	315,56	5,80
17 (<)	223,00	199,57	407,67	19,60
18 (<)	226,00	211,09	710,18	12,80
19 (<)	683,00	666,60	1215,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	271,67	437,50	6,80
23 (<)	281,00	253,67	419,50	6,80
24 (<)	121,00	9,40	176,40	3,00
25 (<)	549,00	532,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	174,09	673,18	20,80
27 (<)	440,00	423,60	972,60	7,00
28 (<)	158,00	139,78	712,00	18,20
29 (<)	167,00	55,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	79,57	287,67	15,60
31 (<)	229,00	212,60	761,60	16,00
32 (<)	156,00	132,57	340,67	13,60
33 (<)	39,00	0,00	94,40	1,00
34 (<)	236,00	215,50	513,00	12,40
35 (<)	369,00	352,60	901,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6485,82	6984,91	61,20
39 (<)	23808,00	23644,00	24924,00	1,80

### ANEXO 3.

## IMPRESIÓN DE RESULTADOS ORIGINAL DEL PROGRAMA “TORA” AL REALIZAR LA CORRIDA 1.

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY			
Title: ANALISIS TESIS 1			
Final Iteration No.: 47			
Objective Value = 561511.2			
Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	531,60	63,00	33490,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	56,40	81,00	4568,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00
Constraint	RHS	Slack-/Surplus+	
1 (<=)	342,00	0,00	
2 (<=)	202,00	202,00-	
3 (<=)	250,00	0,00	
4 (<=)	263,00	0,00	
5 (<=)	175,00	175,00-	
6 (<=)	82,00	82,00-	
7 (<=)	151,00	0,00	
8 (<=)	194,00	0,00	
9 (<=)	112,00	0,00	
10 (<=)	265,00	0,00	
11 (<=)	79,00	79,00-	
12 (<=)	245,00	0,00	
13 (<=)	250,00	0,00	
14 (<=)	119,00	119,00-	
15 (<=)	304,00	0,00	
16 (<=)	254,00	0,00	
17 (<=)	223,00	0,00	

18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	17,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	110,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23818,00	0,00

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00

x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	320,25	624,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	234,18	733,27	24,80
4 (<)	263,00	234,00	404,00	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	107,50	245,00	12,20
8 (<)	194,00	169,14	382,00	16,60
9 (<)	112,00	77,20	224,80	12,00
10 (<)	265,00	245,67	829,00	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	223,25	527,00	19,40
13 (<)	250,00	163,00	320,50	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	246,00	384,57	7,40
16 (<)	254,00	131,11	316,67	5,80
17 (<)	223,00	198,14	411,00	19,60
18 (<)	226,00	210,18	709,27	12,80
19 (<)	683,00	665,60	1214,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	270,00	440,00	6,80
23 (<)	281,00	252,00	422,00	6,80
24 (<)	121,00	10,40	177,40	3,00
25 (<)	549,00	531,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	173,18	672,27	20,80
27 (<)	440,00	422,60	971,60	7,00
28 (<)	158,00	138,67	722,00	18,20
29 (<)	167,00	56,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	78,14	291,00	15,60
31 (<)	229,00	211,60	760,60	16,00
32 (<)	156,00	131,14	344,00	13,60
33 (<)	39,00	0,00	95,40	1,00
34 (<)	236,00	214,25	518,00	12,40
35 (<)	369,00	351,60	900,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6486,73	6985,82	61,20
39 (<)	23818,00	23644,00	24924,00	1,80

## ANEXO 4.

### IMPRESIÓN DE RESULTADOS ORIGINAL DEL PROGRAMA "TORA" AL REALIZAR LA CORRIDA 2.

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00  
 Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
 miércoles, mayo 30, 2012 9:54

#### LINEAR PROGRAM -- ORIGINAL DATA

Title: ANALISIS TESIS 1

	YRCA00 x1	YRCA00 x2	YRCA 0 x3	YRCA 0 x4	YRCA 0 x5	YRCA 0 x6
<b>Maximize</b>	85,00	78,00	86,00	87,00	82,00	82,00
<b>Subject to</b>						
( 1)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	3,00	32,00	0,00	5,00	15,00	15,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCA 0 x7	YRCB 0 x8	YRCB 0 x9	YRCB 0 x10	YRCB00 x11	YRCB 0 x12
( 1)	86,00	85,00	84,00	86,00	80,00	86,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	7,00	4,00	6,00	2,00	32,00	3,00

Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n

	YRCB 0	CHONTA	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0	YRCD 0
	x13	x14	x15	x16	x17	x18
	83,00	77,00	83,00	85,00	88,00	74,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00

(16)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	9,00	13,00	8,00	10,00	4,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCD 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0
	x19	x20	x21	x22	x23	x24
	89,00	68,00	79,00	77,00	77,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	5,00	32,00	5,00	5,00	11,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0
	x25	x26	x27	x28	x29	x30
(1)	63,00	82,00	70,00	83,00	81,00	84,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	0,00	1,00	2,00	11,00	4,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCG 0	YRCG 0	YRCG 0
	x31	x32	x33	x34	x35	x36
	79,00	82,00	82,00	79,00	73,00	60,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	4,00	11,00	3,00	1,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCG 0					
	x37					
	61,00					
(1)	0,00	<=	342,00			

(2)	0,00	≤	202,00
(3)	0,00	≤	250,00
(4)	0,00	≤	263,00
(5)	0,00	≤	175,00
(6)	0,00	≤	82,00
(7)	0,00	≤	151,00
(8)	0,00	≤	194,00
(9)	0,00	≤	112,00
(10)	0,00	≤	265,00
(11)	0,00	≤	79,00
(12)	0,00	≤	245,00
(13)	0,00	≤	250,00
(14)	0,00	≤	119,00
(15)	0,00	≤	304,00
(16)	0,00	≤	254,00
(17)	0,00	≤	223,00
(18)	0,00	≤	226,00
(19)	0,00	≤	683,00
(20)	0,00	≤	467,00
(21)	0,00	≤	70,00
(22)	0,00	≤	299,00
(23)	0,00	≤	281,00
(24)	0,00	≤	121,00
(25)	0,00	≤	549,00
(26)	0,00	≤	189,00
(27)	0,00	≤	440,00
(28)	0,00	≤	158,00
(29)	0,00	≤	167,00
(30)	0,00	≤	103,00
(31)	0,00	≤	229,00
(32)	0,00	≤	156,00
(33)	0,00	≤	39,00
(34)	0,00	≤	236,00
(35)	0,00	≤	369,00
(36)	0,00	≤	622,00
(37)	1,00	≤	598,00
(38)	1,00	=	6970,00
(39)	1,00	≤	24924,00

Lower Bound 0,00  
Upper Bound infinity  
Unrestr'd (y/n)? n

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 563502

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	86,00	21500,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	683,00	89,00	60787,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	421,00	63,00	26523,00
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	167,00	81,00	13527,00
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<=)	342,00	0,00
2 (<=)	202,00	202,00-
3 (<=)	250,00	0,00
4 (<=)	263,00	0,00
5 (<=)	175,00	175,00-
6 (<=)	82,00	82,00-
7 (<=)	151,00	0,00
8 (<=)	194,00	0,00
9 (<=)	112,00	0,00
10 (<=)	265,00	0,00
11 (<=)	79,00	79,00-
12 (<=)	245,00	0,00
13 (<=)	250,00	0,00
14 (<=)	119,00	119,00-
15 (<=)	304,00	0,00
16 (<=)	254,00	0,00
17 (<=)	223,00	0,00

18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	683,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	128,00-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	0,00
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	24924,00	0,00

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	86,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00

x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	342,00	868,25	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	133,64	250,00	24,80
4 (<)	263,00	263,00	680,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	151,00	429,33	12,20
8 (<)	194,00	194,00	750,67	16,60
9 (<)	112,00	112,00	446,00	12,00
10 (<)	265,00	265,00	732,78	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	245,00	771,25	19,40
13 (<)	250,00	250,00	458,75	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	304,00	542,57	7,40
16 (<)	254,00	254,00	439,56	5,80
17 (<)	223,00	223,00	779,67	19,60
18 (<)	226,00	109,64	226,00	12,80
19 (<)	683,00	555,00	1104,00	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	299,00	716,50	6,80
23 (<)	281,00	281,00	698,50	6,80
24 (<)	121,00	121,00	288,00	3,00
25 (<)	549,00	421,00	infinity	0,00
26 (<)	189,00	72,64	189,00	20,80
27 (<)	440,00	312,00	861,00	7,00
28 (<)	158,00	158,00	625,78	18,20
29 (<)	167,00	167,00	infinity	0,00
30 (<)	103,00	103,00	659,67	15,60
31 (<)	229,00	101,00	650,00	16,00
32 (<)	156,00	156,00	712,67	13,60
33 (<)	39,00	39,00	206,00	1,00
34 (<)	236,00	236,00	762,25	12,40
35 (<)	369,00	241,00	790,00	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6970,00	7086,36	61,20
39 (<)	24924,00	23644,00	24924,00	1,80

# ANEXO 4.

TORA Optimization System, Windows®-version 1.00  
 Copyright © 2000-2002, Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
 miércoles, mayo 30, 2012 16:42

## LINEAR PROGRAM -- ORIGINAL DATA

Title: ANALISIS TESIS 1

	YRCA00 x1	YRCA00 x2	YRCA 0 x3	YRCA 0 x4	YRCA 0 x5	YRCA 0 x6
<b>Maximize</b>	85,00	78,00	87,00	87,00	82,00	82,00
<b>Subject to</b>						
( 1)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
( 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
( 6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
( 7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	3,00	32,00	0,00	5,00	15,00	15,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCA 0 x7	YRCB 0 x8	YRCB 0 x9	YRCB 0 x10	YRCB00 x11	YRCB 0 x12
	86,00	85,00	84,00	86,00	80,00	86,00
( 1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
( 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	7,00	4,00	6,00	2,00	32,00	3,00

Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n

	YRCB 0 x13	CHONTA x14	YRCD 0 x15	YRCD 0 x16	YRCD 0 x17	YRCD 0 x18
(1)	83,00	77,00	83,00	85,00	88,00	74,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00



(16)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	9,00	13,00	8,00	10,00	4,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCD 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0	YRCE 0
	x19	x20	x21	x22	x23	x24
	89,00	68,00	79,00	77,00	77,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	5,00	32,00	5,00	5,00	11,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0
	x25	x26	x27	x28	x29	x30
	63,00	82,00	70,00	83,00	81,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	5,00	32,00	5,00	5,00	11,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0
	x25	x26	x27	x28	x29	x30
	63,00	82,00	70,00	83,00	81,00	84,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(31)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	0,00	1,00	2,00	11,00	4,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCF 0	YRCF 0	YRCF 0	YRCG 0	YRCG 0	YRCG 0
	x31	x32	x33	x34	x35	x36
	79,00	82,00	82,00	79,00	73,00	60,00
(1)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(5)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(7)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(9)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(10)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(11)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(12)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(13)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(14)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(15)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(16)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(17)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(18)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(19)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(21)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(22)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(23)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(24)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(25)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(26)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(27)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(28)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(29)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(30)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(31)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(32)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(33)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
(34)	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
(35)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
(36)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
(37)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(38)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
(39)	1,00	4,00	11,00	3,00	1,00	0,00
Lower Bound	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Upper Bound	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity	infinity
Unrestr'd (y/n)?	n	n	n	n	n	n
	YRCG 0					
	x37					
	61,00					
(1)	0,00	<=	342,00			

(2)	0,00	<=	202,00
(3)	0,00	<=	250,00
(4)	0,00	<=	263,00
(5)	0,00	<=	175,00
(6)	0,00	<=	82,00
(7)	0,00	<=	151,00
(8)	0,00	<=	194,00
(9)	0,00	<=	112,00
(10)	0,00	<=	265,00
(11)	0,00	<=	79,00
(12)	0,00	<=	245,00
(13)	0,00	<=	250,00
(14)	0,00	<=	119,00
(15)	0,00	<=	304,00
(16)	0,00	<=	254,00
(17)	0,00	<=	223,00
(18)	0,00	<=	226,00
(19)	0,00	<=	783,00
(20)	0,00	<=	467,00
(21)	0,00	<=	70,00
(22)	0,00	<=	299,00
(23)	0,00	<=	281,00
(24)	0,00	<=	121,00
(25)	0,00	<=	549,00
(26)	0,00	<=	189,00
(27)	0,00	<=	440,00
(28)	0,00	<=	158,00
(29)	0,00	<=	167,00
(30)	0,00	<=	103,00
(31)	0,00	<=	229,00
(32)	0,00	<=	156,00
(33)	0,00	<=	39,00
(34)	0,00	<=	236,00
(35)	0,00	<=	369,00
(36)	0,00	<=	622,00
(37)	1,00	<=	598,00
(38)	1,00	=	6970,00
(39)	1,00	<=	23808,00

Lower Bound 0,00  
Upper Bound infinity  
Unrestr'd (y/n)? n

LINEAR PROGRAMMING OUTPUT SUMMARY

Title: ANALISIS TESIS 1  
 Final Iteration No.: 46  
 Objective Value = 564343.2

Variable	Value	Obj Coeff	Obj Val Contrib
x1: YRCA004	342,00	85,00	29070,00
x2: YRCA005	0,00	78,00	0,00
x3: YRCA 006	250,00	87,00	21750,00
x4: YRCA 007	263,00	87,00	22881,00
x5: YRCA 008	0,00	82,00	0,00
x6: YRCA 009	0,00	82,00	0,00
x7: YRCA 010	151,00	86,00	12986,00
x8: YRCB 002	194,00	85,00	16490,00
x9: YRCB 003	112,00	84,00	9408,00
x10: YRCB 004	265,00	86,00	22790,00
x11: YRCB005	0,00	80,00	0,00
x12: YRCB 006	245,00	86,00	21070,00
x13: YRCB 007	250,00	83,00	20750,00
x14: CHONTA	0,00	77,00	0,00
x15: YRCD 001	304,00	83,00	25232,00
x16: YRCD 002	254,00	85,00	21590,00
x17: YRCD 003	223,00	88,00	19624,00
x18: YRCD 004	226,00	74,00	16724,00
x19: YRCD 005	783,00	89,00	69687,00
x20: YRCE 001	0,00	68,00	0,00
x21: YRCE 002	0,00	79,00	0,00
x22: YRCE 003	299,00	77,00	23023,00
x23: YRCE 004	281,00	77,00	21637,00
x24: YRCE 006	121,00	84,00	10164,00
x25: YRCF 001	432,60	63,00	27253,80
x26: YRCF 002	189,00	82,00	15498,00
x27: YRCF 004	440,00	70,00	30800,00
x28: YRCF 005	158,00	83,00	13114,00
x29: YRCF 006	55,40	81,00	4487,40
x30: YRCF 007	103,00	84,00	8652,00
x31: YRCF 008	229,00	79,00	18091,00
x32: YRCF 009	156,00	82,00	12792,00
x33: YRCF 010	39,00	82,00	3198,00
x34: YRCG 001	236,00	79,00	18644,00
x35: YRCG 002	369,00	73,00	26937,00
x36: YRCG 003	0,00	60,00	0,00
x37: YRCG 004	0,00	61,00	0,00

Constraint	RHS	Slack-/Surplus+
1 (<=)	342,00	0,00
2 (<=)	202,00	202,00-
3 (<=)	250,00	0,00
4 (<=)	263,00	0,00
5 (<=)	175,00	175,00-
6 (<=)	82,00	82,00-
7 (<=)	151,00	0,00
8 (<=)	194,00	0,00
9 (<=)	112,00	0,00
10 (<=)	265,00	0,00
11 (<=)	79,00	79,00-
12 (<=)	245,00	0,00
13 (<=)	250,00	0,00
14 (<=)	119,00	119,00-
15 (<=)	304,00	0,00
16 (<=)	254,00	0,00
17 (<=)	223,00	0,00

18 (<)	226,00	0,00
19 (<)	783,00	0,00
20 (<)	467,00	467,00-
21 (<)	70,00	70,00-
22 (<)	299,00	0,00
23 (<)	281,00	0,00
24 (<)	121,00	0,00
25 (<)	549,00	116,40-
26 (<)	189,00	0,00
27 (<)	440,00	0,00
28 (<)	158,00	0,00
29 (<)	167,00	111,60-
30 (<)	103,00	0,00
31 (<)	229,00	0,00
32 (<)	156,00	0,00
33 (<)	39,00	0,00
34 (<)	236,00	0,00
35 (<)	369,00	0,00
36 (<)	622,00	622,00-
37 (<)	598,00	598,00-
38 (=)	6970,00	0,00
39 (<)	23808,00	0,00

\*\*\*Sensitivity Analysis\*\*\*

Variable	Current Obj Coeff	Min Obj Coeff	Max Obj Coeff	Reduced Cost
x1: YRCA004	85,00	66,60	infinity	0,00
x2: YRCA005	78,00	-infinity	118,80	40,80
x3: YRCA 006	87,00	61,20	infinity	0,00
x4: YRCA 007	87,00	70,20	infinity	0,00
x5: YRCA 008	82,00	-infinity	88,20	6,20
x6: YRCA 009	82,00	-infinity	88,20	6,20
x7: YRCA 010	86,00	73,80	infinity	0,00
x8: YRCB 002	85,00	68,40	infinity	0,00
x9: YRCB 003	84,00	72,00	infinity	0,00
x10: YRCB 004	86,00	64,80	infinity	0,00
x11: YRCB005	80,00	-infinity	118,80	38,80
x12: YRCB 006	86,00	66,60	infinity	0,00
x13: YRCB 007	83,00	77,40	infinity	0,00
x14: CHONTA	77,00	-infinity	84,60	7,60
x15: YRCD 001	83,00	75,60	infinity	0,00
x16: YRCD 002	85,00	79,20	infinity	0,00
x17: YRCD 003	88,00	68,40	infinity	0,00
x18: YRCD 004	74,00	61,20	infinity	0,00
x19: YRCD 005	89,00	63,00	infinity	0,00
x20: YRCE 001	68,00	-infinity	70,20	2,20
x21: YRCE 002	79,00	-infinity	118,80	39,80
x22: YRCE 003	77,00	70,20	infinity	0,00
x23: YRCE 004	77,00	70,20	infinity	0,00
x24: YRCE 006	84,00	81,00	infinity	0,00
x25: YRCF 001	63,00	61,91	70,00	0,00
x26: YRCF 002	82,00	61,20	infinity	0,00
x27: YRCF 004	70,00	63,00	infinity	0,00
x28: YRCF 005	83,00	64,80	infinity	0,00
x29: YRCF 006	81,00	76,57	82,00	0,00

x30: YRCF 007	84,00	68,40	infinity	0,00
x31: YRCF 008	79,00	63,00	infinity	0,00
x32: YRCF 009	82,00	68,40	infinity	0,00
x33: YRCF 010	82,00	81,00	infinity	0,00
x34: YRCG 001	79,00	66,60	infinity	0,00
x35: YRCG 002	73,00	63,00	infinity	0,00
x36: YRCG 003	60,00	-infinity	61,20	1,20
x37: YRCG 004	61,00	-infinity	63,00	2,00

Constraint	Current RHS	Min RHS	Max RHS	Dual Price
1 (<)	342,00	196,50	619,00	18,40
2 (<)	202,00	0,00	infinity	0,00
3 (<)	250,00	144,18	643,27	25,80
4 (<)	263,00	69,00	401,50	16,80
5 (<)	175,00	0,00	infinity	0,00
6 (<)	82,00	0,00	infinity	0,00
7 (<)	151,00	0,00	243,33	12,20
8 (<)	194,00	27,71	378,67	16,60
9 (<)	112,00	0,00	222,80	12,00
10 (<)	265,00	135,67	745,67	21,20
11 (<)	79,00	0,00	infinity	0,00
12 (<)	245,00	99,50	522,00	19,40
13 (<)	250,00	110,50	319,25	5,60
14 (<)	119,00	0,00	infinity	0,00
15 (<)	304,00	144,57	383,14	7,40
16 (<)	254,00	130,00	315,56	5,80
17 (<)	223,00	56,71	407,67	19,60
18 (<)	226,00	120,18	619,27	12,80
19 (<)	783,00	666,60	1215,60	26,00
20 (<)	467,00	0,00	infinity	0,00
21 (<)	70,00	0,00	infinity	0,00
22 (<)	299,00	105,00	437,50	6,80
23 (<)	281,00	87,00	419,50	6,80
24 (<)	121,00	9,40	176,40	3,00
25 (<)	549,00	432,60	infinity	0,00
26 (<)	189,00	83,18	582,27	20,80
27 (<)	440,00	323,60	872,60	7,00
28 (<)	158,00	28,67	638,67	18,20
29 (<)	167,00	55,40	infinity	0,00
30 (<)	103,00	0,00	287,67	15,60
31 (<)	229,00	112,60	661,60	16,00
32 (<)	156,00	0,00	340,67	13,60
33 (<)	39,00	0,00	94,40	1,00
34 (<)	236,00	90,50	513,00	12,40
35 (<)	369,00	252,60	801,60	10,00
36 (<)	622,00	0,00	infinity	0,00
37 (<)	598,00	0,00	infinity	0,00
38 (=)	6970,00	6576,73	7075,82	61,20
39 (<)	23808,00	23254,00	24924,00	1,80