

**DISEÑO DEL COMPONENTE MECÁNICO DE UN SIMULADOR FÍSICO
ESCALADO PARA EVALUAR EL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO COMO
MÉTODO DE RECOBRO MEJORADO EN YACIMIENTOS DE CRUDO PESADO**

**CARLOS FERNANDO BARAJAS PINEDA
ALEXANDER LÓPEZ PRADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO DEL COMPONENTE MECÁNICO DE UN SIMULADOR FÍSICO
ESCALADO PARA EVALUAR EL CALENTAMIENTO ELÉCTRICO COMO
MÉTODO DE RECOBRO MEJORADO EN YACIMIENTOS DE CRUDO PESADO**

**CARLOS FERNANDO BARAJAS PINEDA
ALEXANDER LÓPEZ PRADA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Ing. JABID EDUARDO QUIROGA
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a:

Jabid Eduardo Quiroga, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por sus aportes técnicos y científicos en el desarrollo de este proyecto.

Expedito Lozano, Director de Escuela de ingeniería mecánica por su gran ayuda y credibilidad en sus estudiantes.

Pedro Sarmiento, profesor de ingeniería mecánica, por sus grandes aportes técnicos que nos dieron luz para la culminación del diseño.

A nuestras familias, nuestros amigos y demás personas que contribuyeron de una u otra forma en nuestro proyecto.

DEDICATORIA

A DIOS, mi guía, mi fuente de iluminación y de fuerzas, mi consejero y principal inspiración de mi vida.

A mí madre MARIA DEL CARMEN, por su incondicional amor, quien me apoyó en toda desición y siempre confió en mi.

A mi padre SANTIAGO, la persona que siempre ha estado allí, sin esperar nada a cambio.

A mi hermana SILVIA MARGARITA, por su gran guía espiritual y su apoyo a lo largo de mi carrera

A mi hermano SANTIAGO, gracias por acompañarme y enseñarme cosas maravillosas que me ayudaron a conocer más el mundo.

A mi hermana LAURA, por su credibilidad a pesar de los inconvenientes que se me presentaron.

A mi hermana JOHANNA, por los consejos que me ayudaron a proyectarme y enfocar mi vida.

A mi hermanito LUIS EDUARDO, quien siempre se sintió orgulloso de su hermano.

A mis sobrinos NATHALIA Y SANTIAGUITO, por su inocencia y tranquilidad en mis días de trabajo.

A mi novia YARLEY, LILE, por su compañía y su paciencia durante toda mi carrera.

Carlos Fernando

DEDICATORIA

A DIOS, todo poderoso por ofrendarme el aliento de la vida, la sabiduría y la capacidad para desarrollar los proyectos que he trazado en mi vida.

A mi madre MARIA ISABEL, mi guía en el camino de la vida, por darme todo su amor cariño y comprensión.

A mi padre AGUSTIN, por el apoyo incondicional en todos los momentos de esta existencia.

A mi hermano HUMBERTO, un leal amigo y compañero

A mi hermano JAVIER, un buen ejemplo para seguir adelante.

A mi hermana PAOLA, por su compañía y por todo lo que hemos compartido en el sendero de la vida.

A mi esposa GENIS MARCELA, por el amor el cariño la paciencia y el apoyo que me ha brindado para la ejecución de este proyecto.

A mis hijos SOPHIA Y JAVID, por las ganas de triunfar y llegar todos los días a mi casa.

Al Ingeniero JHON FABIO PRADA SUÁREZ, por su apoyo en todos los momentos importantes de mi vida.

A todos mis FAMILIARES, por la confianza que han depositado en mí.

Alexander

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. GENERALIDADES	22
1.1 HISTORIA SOBRE LAS TÉCNICAS DE RECOBRO	22
1.2 GENERALIDADES SOBRE EL ESCALAMIENTO FÍSICO	25
1.2.1 Modelos Escalados	25
1.2.2 Análisis Dimensional y Semejanza	27
1.2.3 Análisis Dimensional	28
1.2.4 Teorema de π o Buckingham	29
1.2.5 Aplicaciones del Teorema de π	30
1.2.6 Grupos Adimensionales Importantes en la Mecánica de Fluidos	32
1.2.7 Semejanzas de Modelos	35
1.2.8 Leyes de Semejanza	36
1.2.9 Tipos de Modelos Físicos Empleados	39
1.2.9.1 Modelos Escalados	39
1.2.9.2 Modelo No-Escalado	39
1.2.9.3 Modelos Parcialmente Escalados	40
1.3 DATOS DEL CAMPO Y SUPOSICIONES DEL MODELO	40
2. ESTADO DEL ARTE	45
2.1 ARTICULO 1. METODOS DE CALENTAMIENTO ELECTRICO EN RESERVAS DE CRUDO PESADO	45
2.1.1 Calentamiento Eléctrico Resistivo a Baja Frecuencia	46
2.1.1.1 Características del Modelo Simulado	47
2.1.1.2 Análisis de la Simulación por Calentamiento Eléctrico Resistivo	49
2.1.2 Calentamiento por Microondas	53
2.1.2.1 Características de la Simulación	55
2.1.2.2 Análisis de la Simulación del Calentamiento por Microondas	57
2.2 ARTICULO 2. NUEVA TECNICA DE RECOBRO PARA RESERVAS DE CRUDO PESADO CON AGUA EN FONDO	59

2.3 ARTICULO 3. SIMULACION FISICA Y NUMERICA DE INUNDACION DE VAPOR EN UNA RESERVA MEDIANA DE CRUDO, LAGO MARACAIBO, VENEZUELA	63
2.3.1 Simulación Física	63
2.4 ARTICULO 4. ESTUDIO DEL CONTROL DE INYECCION DE AGUA EN POZOS O BARRERAS DE FLUJO NATURAL USANDO MODELO FISICO Y SIMULADOR NUMERICO	65
3. PRUEBAS REALIZADAS A LA ARENA	69
3.1 NORMA DE MUESTREO DE ARENA	70
3.2 PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	71
3.3 PRUEBA DE COMPACTIBILIDAD	76
3.3.1 Preparación de la Muestra	76
4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO FÍSICO ESCALADO	80
4.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO POR SUBSISTEMAS	82
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	83
4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VIBRACIÓN	84
4.3.1 Funcionamiento del Músculo Neumático	85
4.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BUZAMIENTO	87
4.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMPACTACIÓN	88
4.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN Y PRESURIZACIÓN	89
4.7 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE FLUIDOS	90
4.8 DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR FÍSICO ESCALADO	89
4.9 DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS	92
4.9.1 Pozo Productor/Inyector	92
4.9.2 Pozo de Medición	93
4.10 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL	94
5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL COMPONENTE MECÁNICO DEL SIMULADOR FÍSICO ESCALADO	96
5.1 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURA	96
5.1.1 Cojinetes	99

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE VIBRACIÓN	104
5.2.1 Presión de Funcionamiento de los Músculos Neumáticos	105
5.2.2 Selección de los Resortes del Sistema de Vibración	108
5.2.3 Selección de los Rodamientos del Carrito de Vibración	110
5.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE BUZAMIENTO	111
5.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMPACTACIÓN	116
5.5 DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO DEL SISTEMA COMPLETO	121
5.6 DISEÑO DE LA CELDA	122
5.7 DISEÑO DE LOS POZOS	126
5.7.1 Pozos Productores / Inyectores	126
5.7.2 Pozos de Medición	127
5.8 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS	128
6. PRESUPUESTO	130
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
8. BIBLIOGRAFIA	136
ANEXOS	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo Escalado	26
Figura 2. Razón de Escala	36
Figura 3. Esquema del Calentamiento Eléctrico Resistivo	46
Figura 4. Esquema de un Modelo de una Reserva Aplicando Calentamiento Eléctrico a Baja Frecuencia (Ejemplo 1)	47
Figura 5. Temperatura a los 6 Meses de Precalentamiento (en la capa 9)	50
Figura 6. Temperatura Después de 2 Meses de Inyección de Vapor Luego de 6 Meses de Precalentamiento (en la capa 9)	50
Figura 7. Temperatura Después de 1 año de Inyección de Vapor Luego de 6 Meses de Precalentamiento (en la capa 9)	51
Figura 8. Temperatura Después de 1 año de Inyección de Vapor en una Reserva Fría	51
Figura 9. Cuadrantes X-Z del Ejemplo 1 Mostrando la Distribución de Temperatura Después de 12 Meses de Calentamiento Eléctrico	52
Figura 10. Cuadrantes X-Z del Ejemplo 1 (sin capas de roca) Mostrando la Distribución de Temperatura Después de 12 Meses de Calentamiento Eléctrico	52
Figura 11. Producción Acumulativa de Crudo de Pozos Horizontales con y sin Precalentamiento	53
Figura 12. Esquema del Calentamiento por Microondas	54
Figura 13. Permeabilidad y Saturación de Crudo para el Ejemplo 2	54
Figura 14. Distribución de Temperatura para el Caso 6: Fuente de Microonda de 60 Kw. en las capas 25 y 30	55
Figura 15. Distribución de Temperatura para el Caso 6(capa 30)	57
Figura 16. Distribución de la Temperatura con una Fuente de Microondas Cercana.	58

Figura 17. Producción Acumulada de Crudo en Diferentes Situaciones para el Ejemplo 2	59
Figura 18. Esquema del Modelo Visual	60
Figura 19. Esquema del Modelo Escalado	62
Figura 20. Esquema del Aparato Experimental	62
Figura 21. Esquema del Aparato Experimental Usado para la Simulación Física Escalada con Inundación de Vapor en un Medio Viscoso	65
Figura 22. Esquema del Equipo Experimental	66
Figura 23. Modelo Escalado	67
Figura 24. Graficas Comparativas de Arenas	75
Figura 25. Pasos para Preparar la Muestra	76
Figura 26. Compactadora de Arena y Probeta de ensayo.	78
Figura 27. Diagrama del Simulador Físico Escalado	80
Figura 28. Simulador Físico Escalado	82
Figura 29. Estructura para el Soporte del Modelo Físico Escalado	84
Figura 30. Sistema de Vibración	85
Figura 31. Músculo Neumático	86
Figura 32. Sistema de Inclinación o Buzamiento	87
Figura 33. Sistema de Compactación	88
Figura 34. Sistema de Inyección de Fluidos	89
Figura 35. Recolección de Fluidos	90
Figura 36. Celda	91
Figura 37. Pozo Productor / Inyector	92
Figura 38. Pozo de Medición	93
Figura 39. Diagrama de Flujo Desarrollado para el Proceso de Diseño del Simulador Físico Escalado	97
Figura 40. Distribución de Esfuerzos en la Estructura	98
Figura 41. Deformación Total en la Estructura	98
Figura 42. Factor de Seguridad Estructura	99
Figura 43. Distribución de Esfuerzos en el Cojinete	100

Figura 44. Esfuerzo Cortante en Cojinete	100
Figura 45. Deformación Total en Cojinete	101
Figura 46. Factor de Seguridad en Cojinete	101
Figura 47. Distribución de Esfuerzos en el Eje de Cojinete	102
Figura 48. Máximo Esfuerzo Cortante en el Eje de Cojinete	102
Figura 49. Deformación Total en el Eje de Cojinete	103
Figura 50. Factor de Seguridad en el Eje de Cojinete	103
Figura 51. Velocidad y Recorrido del Músculo en una Oscilación	106
Figura 52. Presión de Funcionamiento de los Músculos Neumáticos	106
Figura 53. Circuito Neumático de Vibración	107
Figura 54. Resorte del Sistema de Vibración	108
Figura 55. Fuerzas en la Placa de Buzamiento	111
Figura 56. Longitud de la Carrera de Buzamiento	112
Figura 57. Fuerza Necesaria para Lograr el ángulo de Buzamiento	113
Figura 58. Presiones de Entrada y Salida al Cilindro Neumático	114
Figura 59. Velocidad y Recorrido del Cilindro Neumático	115
Figura 60. Diseño del Circuito Neumático del Sistema de Buzamiento	115
Figura 61. Grafica de Velocidad y Recorrido del Cilindro Neumático	117
Figura 62. Grafica de Aceleración y Presiones del Cilindro Neumático	117
Figura 63. Distribución de Esfuerzos de Von-Mises en Compactación	118
Figura 64. Máximo Esfuerzo Cortante en Compactación	119
Figura 65. Deformación Máxima en Compactación	119
Figura 66. Factor de Seguridad en Compactación	120
Figura 67. Diseño del Circuito Neumático del Sistema de Compactación	120
Figura 68. Diseño del Circuito Neumático Total	121
Figura 69. Deformación Total en el Simulador Físico Escalado	122
Figura 70. Factor de Seguridad en el Simulador Físico Escalado	123
Figura 71. Esfuerzo Equivalente (Von-Mises) en el Simulador Físico Escalado	123
Figura 72. Deformación Total en el Simulador Físico Escalado	124

Figura 73. Factor de Seguridad en el Simulador Físico Escalado	124
Figura 74. Análisis de Deformaciones Ansys	125

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos del Campo y Suposiciones del Modelo	41
Tabla 2. Viscosidad del Crudo-Temperatura para el Ejemplo 1	49
Tabla 3. Viscosidad de Crudo-Temperatura para el Ejemplo 2	58
Tabla 4. Características del Modelo y el Prototipo	61
Tabla 5. Propiedades del Medio Viscoso	64
Tabla 6. Propiedades del Prototipo de Campo Inyector de Flujo Natural	68
Tabla 7. Análisis Granulométrico de Arena del Campo la Hocha	73
Tabla 8. Porcentaje en Peso de Arena del Campo la Hocha	74
Tabla 9. Análisis Granulométrico de Arena para 100 gr	74
Tabla 10. Comparación de Arenas UIS – HOCOL	75
Tabla 11. Descripción del Diagrama Esquemático	81
Tabla 12. Tasa de Salmuera	128
Tabla 13. Presupuesto	130

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos	143
Anexo B. Catálogo de Bombas	177
Anexo C. Catálogo Swagelok	182
Anexo D. Sensor de Presión	187
Anexo E. Catálogo de Sensores de Temperatura	190
Anexo F. Catálogo de Accesorios Festo	193
Anexo G. Propiedades del Acrílico	211
Anexo H. Propiedades del Duralón (Nylon 6,6) y Teflón (Politetrafluoretileno)	214
Anexo I. Catálogo de Perfiles y Láminas de Acero	220
Anexo J. Denominación de Roscas	225
Anexo K. Propiedades del Neopreno	227
Anexo L. Cotizaciones	229

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DEL COMPONENTE MECÁNICO DE UN SIMULADOR FÍSICO ESCALADO PARA EVALUAR EL CALENTAMIENTO ELECTRICO COMO METODO DE RECOBRO MEJORADO EN YACIMIENTOS DE CRUDO PESADO *

AUTORES: BARAJAS PINEDA, Carlos Fernando.

LÓPEZ PRADA, Alexander **

PALABRAS CLAVES: Simulador físico escalado.

Recobro mejorado.

Calentamiento eléctrico resistivo.

DESCRIPCIÓN:

Cada día son más apremiantes las necesidades de crudo en el mundo, por lo tanto se hace necesario el diseño de equipos de laboratorio que puedan suministrarnos unos resultados óptimos para su posterior aplicación en los yacimientos de petróleo.

Las diversas pruebas de laboratorio para el mejoramiento del recobro de crudo pesado nos muestran diferentes diseños de modelos físicos escalados utilizados para este estudio.

El modelo físico escalado busca predecir el efecto de la inyección de corriente sobre la producción de aceite y arena para lo cual se definieron los parámetros y criterios de escalamiento en el análisis dimensional, para eso, se diseñó con

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías físico-mecánicas, Departamento de ingeniería mecánica, Ing. Jabid Eduardo Quiroga.

soporte CAD/CAE el componente mecánico del simulador físico escalado, los pozos de medición , los pozos multipropósito inyector /productor , los sistemas de buzamiento (inclinación), vibración, compactación y los sistemas de distribución y recolección de fluidos.

El objetivo de este trabajo consistió en diseñar el componente mecánico y el simulador físico escalado para el laboratorio del Centro de Investigación del gas y del Petróleo CIGP de la Universidad Industrial de Santander, UIS.

Esperamos que este trabajo sea un aporte significativo en el desarrollo científico y tecnológico de nuevas tecnologías que contribuyan con el avance del estudio de métodos de recobro mejorado de hidrocarburos en el país.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF THE MECHANICAL COMPONENT OF A SCALED PHYSICAL SIMULATOR TO EVALUATE ELECTRICAL HEATING LIKE A METHOD OF IMPROVED RECOVERING IN DEPOSITS OF HEAVY CRUDE* .

AUTHORS: BARAJAS PINEDA, Carlos Fernando.
LÓPEZ PRADA, Alexander. **

KEY WORDS: Scaled Physical Simulator.
 Improved Recovering.
 Electrical Heating.

DESCRIPTION:

Each day the necessities are more demanding for crude oil over the world and it become more necessary the design of laboratory equipment that can give us optimum results for the subsequent application in the field of petroleum.

The different evidences of laboratory for the betterment of recovery of heavy crude demonstrate different design of physical models scaled used for this study.

The scaled physical model looks for to predict the effect of the current injection on the production of oil and sand for which the parameters and criteria of scaling in the dimensional analysis were defined, for that intention, it was designed with CAD/CAE support, the mechanic component of the scaled physical simulator, the wells of measurement, the multipurpose wells injector /producer, the systems of dip

* Project Degree

** Physic-mechanical Engineerings Faculty, Department of Mechanical Engineering, Eng, Jabid Eduardo Quiroga.

(inclination), vibration, compaction and the systems of distribution and harvesting of fluids.

The objective of this work consisted in designing a mechanical component and a physical scaled simulator for the Investigation Center of gas and oil of the Universidad Industrial de Santander, UIS.

We hope that this work be a significant contribution in the scientific and technological development of new technologies that contribute with the advancement of the study of methods of improved hydrocarbon recovery in this country.

INTRODUCCIÓN

El recobro eficiente de crudo es cada vez más difícil, por lo tanto se hace necesario desarrollar métodos y técnicas que puedan ayudar a recuperarlos.

Entre las técnicas de mejoramiento de recobro de crudo pesado se utilizan varios procesos como son: gas miscible o inmisible, fuentes térmicas, químicos especiales el uso de microbios etc., y aunque es físicamente imposible recuperar todo el crudo que es descubierto, se llevan a cabo varios experimentos con modelos físicos escalados a menudo utilizados para corroborar los sofisticados modelos computacionales. El objetivo de todo esto es acelerar la creación e implementación de diseños innovadores que incrementen la eficiencia de los procesos de recobro.

El modelo físico escalado busca predecir el efecto de la inyección de corriente sobre la producción de aceite y arena para lo cual se definieron los parámetros y criterios de escalamiento en el análisis dimensional, para eso se diseñó con soporte CAD/CAE el componente mecánico del simulador físico escalado, los pozos de medición , los pozos multipropósito inyector /productor , los sistemas de buzamiento (inclinación), vibración, compactación y los sistemas de distribución y recolección de fluidos.

Esperamos que este trabajo sea un aporte significativo en el desarrollo científico y tecnológico de nuevas tecnologías que contribuyan con el avance del estudio de métodos de recobro mejorado de hidrocarburos en el país.

1. GENERALIDADES

1.1 HISTORIA SOBRE LAS TÉCNICAS DE RECOBRO

Los primeros acercamientos a las técnicas de recobro datan de 1888 con el concepto de combustión in-situ hecho por Mendeleev¹, cuando sugirió aplicarlo en la producción de gases combustibles en minas de carbón, pero no fue sino hasta 1934 que este método fue acogido como método de recobro secundario en yacimientos de crudo pesado.

En 1930 Osgood² realizó una excelente recopilación sobre las primeras técnicas de recobro mejorado, como el bombardeo en regiones cercanas al pozo, técnica conocida como “shooting” la cuál reducía notablemente la resistencia del flujo al pozo al fracturarse la roca en porciones mucho más pequeñas.

La formulación de las condiciones requeridas para el escalamiento en los experimentos de flujo de dos fases en medio poroso ha sido presentada en la literatura en varias ocasiones; en 1942 Leveret³ realizó un estudio del comportamiento de modelos dimensionales de campos de petróleo, quién no consideraba generalmente el régimen de flujo laminar. Dos años más adelante en 1949 Purcell⁴ realizó estudios sobre las presiones capilares.

Un adecuado tratamiento basado en la consideración del análisis dimensional fue presentado en 1951 por Engelberts y Klinkenberg⁵ quienes realizaron un experimento de laboratorio sobre el desplazamiento del crudo por medio de agua a través de material granular. El mismo año Rose, Walter, Gilchrist, y Ralph E⁶ presentaron “El uso de modelos en el estudio de la ingeniería de yacimientos”. En 1953 Rapoport⁷ hizo análisis sobre el desplazamiento de crudo por inundación de

agua, y en 1954 formuló matemáticamente leyes de escalamiento para diseño, uso y operación de modelos de flujo bifásico⁸.

En 1972 Pujol, L., Boberg, T.C.⁹ desarrollaron un completo análisis para verificar la exactitud del escalamiento en los modelos de laboratorio utilizados para la inyección de vapor como método de recobro.

Crawford¹⁰ en 1963, Helm and Josendal¹¹ en 1974 discutieron en detalle el uso de dióxido de carbono como método de desplazamiento de crudo, como una técnica de recobro secundario. También en 1974 Farouq Ali¹² realizó un completo estudio sobre los principios, práctica y problemas de los métodos de recobro de crudo pesado.

El proceso SAGD (Steam-assisted gravity drainage) fue desarrollado por Butler¹³ y sus colaboradores en 1985.

En 1986 Garon, A.M., Gulf R Y D Co.; Kumar, M., Gulf R Y D Co.; Lau, K.K., Gulf R Y D Co.; Sherman, M.D., Gulf R Y D Co.¹⁴ realizaron una investigación de laboratorio sobre el barrido volumétrico durante la aplicación de técnicas de “fireflooding” conducida en tres modelos experimentales en 3D, método considerado particularmente aplicable a la combustión in-situ.

Chung¹⁵ en 1988 y Chung y Butler^{16, 17} en 1989 Reportaron resultados experimentales para el proceso SAGD con modelos visuales y escalados de yacimientos. El mismo año, 1989 Islam, M.R junto con Farouq Ali¹⁸ compilaron un estudio sobre la combustión in-situ resaltándola como un importante método de recuperación de crudo y aportando ideas para aumentar la efectividad en el factor de recobro.

Más adelante, en 1991 Islam¹⁹ propuso aumentar el factor de recobro en las arenas de Alaska, usando el calentamiento eléctrico con pozos horizontales como método alternativo a los ya convencionales de inyección de vapor. También en este mismo año Islam²⁰ publicó un artículo en el que describe el calentamiento eléctrico como una nueva técnica de recobro para yacimientos de crudo pesado con agua de fondo”

En 1992 Amit Chakma²¹ anuncia en un artículo que el calentamiento eléctrico es efectivo en zonas delgadas donde es más efectivo aplicarlo en vez de la inyección de vapor donde la pérdida de calor puede llegar a ser elevada y realiza ensayos de calentamiento combinado con inyección de un gas inerte.

Ovens y su equipo de colaboradores²², en 1993 desarrollaron un equipo para estudiar pruebas de inyección de agua caliente en pozos bajo condiciones fracturadas. Ese mismo año Duarte²³ realizó el proyecto “Desarrollo de un modelo escalado para inyección de vapor” para el instituto Colombiano del Petróleo, que involucró un análisis de la formulación matemática aplicada a la inyección de vapor, con el que se realizaron pruebas de desplazamiento e inyección de vapor de agua.

Un año más tarde Ahner²⁴ desarrolla un modelo físico para aplicar pruebas de inyección de vapor en pozos horizontales en donde demuestra que el factor de recobro se aumenta en un 60% u 80%.

Sasaki²⁵ en 1996 realiza un estudio experimental en la etapa inicial de un proceso SAGD usando un modelo escalado en 2D en donde se midió la tasa de producción de crudo y el área de expansión de la cámara de vapor, donde se concluyó que la pérdida de calor estuvo entre un 60 % y 75% del total de calor inyectado y en 1999 K. Sasaki*, S. Akibayashi²⁶ y su comitiva realizan el mismo ensayo en un modelo físico escalado y aplican una estimulación adicional en los pozos

productores horizontales aumentando un 26 % en comparación con el proceso convencional.

En el año 2000 Akshay Sahni ²⁷ realizó estudios comparativos entre estimulación por inyección de vapor, calentamiento eléctrico a baja frecuencia y calentamiento por microondas o alta frecuencia; se concluyó que esta última es efectiva en yacimientos en donde la permeabilidad es baja y que un precalentamiento eléctrico antes de una adecuada inyección de vapor acelera significativamente la producción de crudo.

Pei bailin y otros ²⁸, en 2001 diseñaron un modelo físico escalado para aplicar técnicas de simulación física en pozos de prueba, para hacer una comparación asumiendo una tasa de inyección de flujo constante en un simulador numérico y ver que pasaba en las pruebas en realidad con el componente escalado.

En el año 2002 Cesar Ovalles, Ángel Rico ²⁹ y un equipo de colaboradores realizaron una simulación numérica y física de inundación de vapor en un yacimiento de crudo para aplicación de recobro en el lago Maracaibo en Venezuela, y se observó una aceleración en el incremento del factor de recobro en un 5% en producción acumulada de crudo.

1.2 GENERALIDADES SOBRE EL ESCALAMIENTO FÍSICO

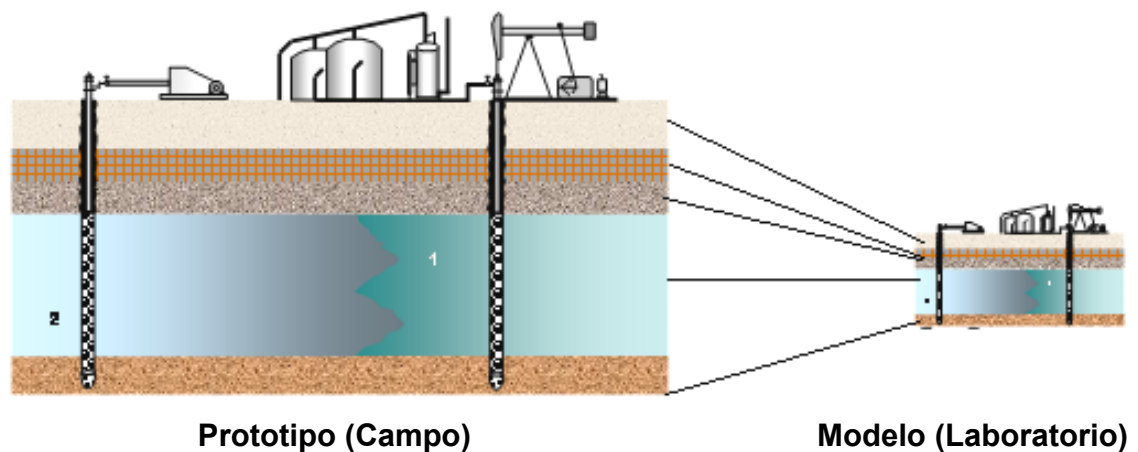
1.2.1 Modelos Escalados.

Los modelos escalados han contribuido notablemente en el diseño e implementación de muchos proyectos de campo, permitiendo por medio de técnicas específicas y por el uso de un modelo experimental ,predecir el

comportamiento un prototipo de campo con excelentes resultados técnicos y económicos.

Un modelo a escala es la reproducción simplificada de fenómenos y dispositivos que ocupan gran espacio físico y temporal, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Modelo escalado



Fuente: Autores del libro

En muchas ramas de la ingeniería, los problemas dinámicos a menudo son resueltos comparando el comportamiento de dos sistemas similares, pero completamente diferentes en tamaño. Para que se pueda representar el comportamiento de un prototipo de campo, el modelo debe ser geoméricamente similar, y en complemento a esto, las relaciones de todas las fuerzas actuando sobre el prototipo de campo deben ser iguales a las relaciones de las fuerzas actuando en el modelo. Por lo tanto, para construir un modelo escalado es necesario conocer de antemano todas las fuerzas que afectan el comportamiento del yacimiento; aún cuando todas las relaciones matemáticas que involucran estas

fuerzas sean desconocidas. En la mayoría de los casos, es imposible representarlas simultáneamente, por tanto, se deben eliminar una o más de las fuerzas empleando el juicio ingenieril, de forma que solo los fenómenos más representativos sean considerados en el modelo.

1.2.2 Análisis Dimensional y Semejanza.

Con las herramientas del análisis dimensional pueden establecerse criterios de semejanza, muy útiles a la hora de realizar experimentos. En efecto, los prototipos de flujos que se diseñan y estudian -por ejemplo en una válvula de muy grandes dimensiones, en turbinas hidráulicas, en autos, en la circulación sanguínea, etc.- tienen a menudo condiciones geométricas o físicas que dificultan su ensayo desde un punto de vista técnico.

Es posible llevar estas condiciones de flujos reales a condiciones de laboratorio más manejables. Para ello, la condición de semejanza es que los números adimensionales que gobiernan las leyes del fenómeno en estudio de un prototipo deberán ser los mismos que en un modelo de laboratorio.

No existen soluciones directas en muchos casos de problemas que se nos pueden plantear, por ejemplo, siempre tenemos el problema de la valoración de la altura de pérdidas ($h_{\text{fricción}}$), por lo que se ha de recurrir al análisis experimental, es decir, al trabajo de laboratorio para poder encontrar las correlaciones que nos hacen falta.

En general se aplican estas técnicas cuando se conocen las variables que intervienen en el problema (fenómeno físico), mientras que la relación que existe entre ellas se desconoce.

1.2.3 Análisis Dimensional.

Mediante el análisis dimensional, el problema o fenómeno físico, se representa por una función de los denominados “*grupos adimensionales*”, en vez de por las variables que intervienen. Con este procedimiento, se reduce el número de variables, con lo que el coste de la experimentación disminuye.

Nosotros podemos expresar una dimensión dependiente en función de un conjunto seleccionado de dimensiones básicas independientes, en nuestro caso como utilizamos el Sistema Internacional de unidades, estas dimensiones básicas son:

- L, longitud.
- M, masa.
- T, tiempo.
- K, grados kelvin.

Así podemos expresar, por ejemplo, la velocidad dimensionalmente como:

$$\text{Ec. 1.1} \quad v \equiv \frac{L}{T}$$

Como una longitud entre un tiempo.

Se denomina grupo adimensional, aquel cuya dimensión es 1; es decir, cuando el producto de un grupo de cantidades expresadas dimensionalmente es igual a 1.

Por ejemplo:

$$\text{Ec. 1.2} \quad \frac{\rho^* v^* D}{\mu} \equiv \frac{\frac{M}{L^3} * \frac{L}{T} * L}{\frac{M}{L * T}} = 1$$

Este grupo adimensional recibe un nombre particular, el número de Reynolds.

La manera de relacionar estos grupos adimensionales y las variables que afectan a un fenómeno físico en cuestión, nos viene relacionado por el teorema de Buckingham o teorema de π .

1.2.4 Teorema de π o Buckingham.³⁰

Este teorema dice lo siguiente:

“Si se sabe que un proceso físico es gobernado por una relación dimensionalmente homogénea que comprende a n parámetros dimensionales, tales como:

$$\text{Ec. 1.3} \quad x_1 = f(x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Donde las “ x ” son variables dimensionales, existe una relación equivalente que contiene un número $(n - k)$ de parámetros adimensionales, tales como:

$$\text{Ec. 1.4} \quad \Pi_1 = f'(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{n-k})$$

Donde los “ Π ” son grupos adimensionales que se construyen a partir de las “ x ”. La reducción “ k ” generalmente es igual al número de dimensiones fundamentales contenidas en “ x ”, pero nunca mayor que él”.

1.2.5 Aplicaciones del Teorema de π .

El teorema π , lo único que nos dice es el número mínimo de grupos adimensionales. Para la construcción completa de un sistema de grupos adimensionales, se debe seguir con el siguiente método:

- 1) *Escribir una relación funcional para la relación dimensional que se investiga, asegurándose de incluir todos los parámetros dimensionales relevantes.*

Así podemos escribir la pérdida de altura por fricción ($H_{\text{fricción}}$) en una tubería recta de sección circular, que depende de:

$$\text{Ec. 1.5} \quad H_{\text{fricción}} = f(L, D, v; \rho, \mu, \varepsilon)$$

Donde ε es la rugosidad absoluta de la tubería (dimensión longitud).

- 2) *Determinar el número de parámetros adimensionales que se requieren construir.*

Para ello cada variable la expresamos dimensionalmente:

$H_{\text{fricción}}$	=	L
L	=	L
D	=	L
V	=	L/T
ρ	=	M/L ³
μ	=	M/ (L*T)
ε	=	L

En donde tenemos 7 variables (n) y 3 dimensiones (k). Por tanto el número de grupos adimensionales que tendremos según el teorema de “ π ” es de:

$$\text{Ec. 1.6} \quad n - k = 7 - 3 = 4 \text{ grupos adimensionales.}$$

3) Cálculo de los grupos adimensionales.

La relación funcional se expresa dimensionalmente, elevando las variables dependientes a coeficientes:

$$\text{Ec. 1.7} \quad [L] = f([L]^a, [L]^b, [L \cdot T^{-1}]^c, [M \cdot L^{-3}]^d, [M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}]^e, [L]^f)$$

Como debe ser una ecuación dimensionalmente homogénea, el lado izquierdo de la igualdad tiene que tener la misma dimensión que el lado derecho de la igualdad, por tanto se cumple:

[L]

$$\text{Ec. 1.8} \quad 1 = a + b + c - 3d - e + f$$

[T]

$$\text{Ec. 1.9} \quad 0 = -c - e$$

[M]

$$\text{Ec. 1.10} \quad 0 = d + e$$

Nos produce un sistema de 3 ecuaciones con 6 incógnitas, por lo que se escogen tres variables (que queramos que se repitan en los diferentes grupos adimensionales), y se ponen en función de las demás.

En este caso escogeremos la densidad (d), la velocidad (c) y el diámetro (f):

$$\text{Ec. 1.11} \quad d = -e$$

$$\text{Ec. 1.12} \quad c = -e$$

$$\text{Ec. 1.13} \quad 1 = a + b - e - 3(-e) - e + f$$

$$\text{Ec. 1.14} \quad 1 = a + b + e + f$$

$$\text{Ec. 1.15} \quad f = 1 - a - b - e$$

Sustituyendo en la misma relación:

$$\text{Ec. 1.16} \quad [L] = f([L]^a, [L]^b, [L \cdot T^{-1}]^{-e}, [M \cdot L^{-3}]^{-e}, [M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}]^e, [L]^{1-a-b-e})$$

y agrupando las potencias se obtiene:

$$\text{Ec. 1.17} \quad \frac{H_{\text{fricción}}}{D} = f\left(\frac{\mu}{D \cdot \rho \cdot v}, \frac{\varepsilon}{D}, \frac{L}{D}\right)$$

Con lo que hemos obtenido cuatro grupos adimensionales, tales como habíamos deducido por la aplicación del teorema de pi.

1.2.6 Grupos Adimensionales Importantes en la Mecánica de Fluidos.

Así, a nivel general, sabemos que la suma de fuerzas que actúan sobre un fluido, puede provocar una aceleración del mismo:

$$\text{Ec. 1.18} \quad \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Esta fuerza de inercia se puede expresar como:

$$\text{Ec. 1.19} \quad m \cdot \vec{a} = \rho \cdot v^2 \cdot L^2$$

Las fuerzas que componen el sumatorio de fuerzas, son las másicas y las superficiales, y pueden ser:

a) Fuerzas másicas:

1) Fuerzas debido a la gravedad:

$$\text{Ec. 1.20} \quad F_m = L^3 * \rho * g$$

b) Fuerzas superficiales:

1) Fuerzas normales o de presión:

$$\text{Ec. 1.21} \quad F_p = L^2 * \Delta p$$

2) Fuerzas tangenciales o de fricción debido a la viscosidad:

$$\text{Ec. 1.22} \quad F_{\text{fricción}} = L * \mu * v$$

3) Fuerzas tangenciales debido a la tensión superficial:

$$\text{Ec. 1.23} \quad F_\sigma = L * \sigma$$

4) Fuerzas normales debido a la compresibilidad:

$$\text{Ec. 1.24} \quad F_\kappa = L^2 * \kappa$$

Sumando todas las fuerzas e igualando a las de inercia, obtenemos:

$$\text{Ec. 1.25} \quad L^3 * \rho * g + L^2 * \Delta p + L * \mu * v + L * \sigma + L^2 * \kappa = \rho * v^2 * L^2$$

Esta es una expresión que relaciona 8 magnitudes físicas:

$$\text{Ec. 1.26} \quad f(l, \Delta p, \rho, g, v, \mu, \kappa, \sigma) = 0$$

Como intervienen 3 magnitudes básicas (masa, longitud y tiempo), se han de obtener 5 grupos adimensionales:

Dividiendo la ecuación del $\sum F$ por las fuerzas de inercia, obtendremos:

$$\text{Ec. 1.27} \quad \frac{L * g}{v^2} + \frac{\Delta p}{\rho * v^2} + \frac{\mu}{L * v^2 * \rho} + \frac{\kappa}{\rho * v^2} = 1$$

Estos cinco números adimensionales, en general, se les da otra forma y se les asigna unos nombres particulares:

- Número de Reynolds.

$$\text{Ec. 1.28} \quad \text{Re} = \frac{\rho * l * v}{\mu} = \frac{l * v}{\mu}; \text{ es el cociente entre las fuerzas de inercia y las de fricción producida por la viscosidad.}$$

- Número de Euler.

$$\text{Ec. 1.29} \quad \text{Eu} = \frac{v}{\sqrt{2 * \frac{\Delta p}{\rho}}}; \text{ representa la raíz cuadrada del cociente entre las}$$

fuerzas de inercia y las de presión.

- Número de Froude.

Ec. 1.30 $Fr = \frac{v}{\sqrt{l * g}}$; es la raíz cuadrada del cociente entre las fuerzas de inercia y las de gravedad.

- Número de Mach.

Ec. 1.31 $Ma = \frac{v}{\sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}}$; es la raíz cuadrada del cociente entre las fuerzas de inercia y las de elasticidad. Siendo $\sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$ la velocidad del sonido en el fluido en cuestión.

- Número de Weber.

Ec. 1.32 $We = \frac{v}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho * l}}}$; es la raíz cuadrada del cociente entre las fuerzas de inercia y las debidas a la tensión superficial.

1.2.7 Semejanzas de Modelos.

Muchas veces, con la experimentación; en vez de examinar un fenómeno físico, que ocurre en un objeto particular o en un conjunto de objetos, nos interesa estudiar un conjunto de fenómenos, sobre un objeto o conjunto de objetos. Por ejemplo, se quiere predecir el campo de presiones en un pilar de un puente que está sobre un río. Para ello tenemos dos opciones:

- a) Construirlo a escala 1:1, y medir directamente las presiones. Si la resistencia es adecuada dejarlo, y si no, destruirlo y volverlo a construir adecuadamente.
- b) Construir un modelo a escala, por ejemplo 1:60, y realizar pruebas en un laboratorio de hidráulica, y extrapolar los resultados para construir un pilar adecuado.

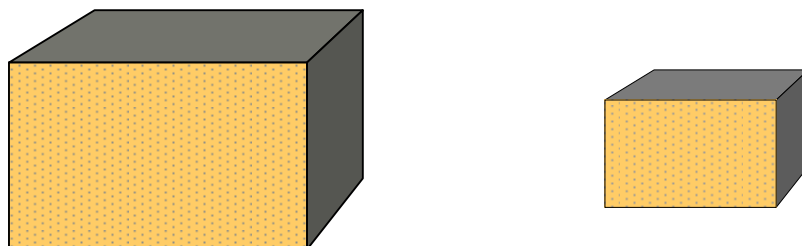
Como es obvio la opción a) es inviable y tendremos que recurrir a la opción b). Para ello deberemos relacionar el modelo a escala con el prototipo real, de alguna manera; para poder predecir el comportamiento de éste a partir de los resultados obtenidos experimentalmente en el modelo a escala. Por ello debemos hablar de las leyes de semejanza.

1.2.8 Leyes de Semejanza.

Para poder extrapolar los resultados, previamente se han de cumplir:

- a) El modelo ha de ser geoméricamente igual que el prototipo. Esta relación deberá respetarse también en el caso de valores de rugosidad, radios, etc.

Figura 2. Razón de escala



Fuente: Autores del libro

Por tanto, las longitudes L, superficies A y volúmenes V deben ser homólogos entre el prototipo y el modelo, y han de verificar la siguiente relación:

$$\text{Ec. 1.33} \quad \frac{L_p}{L_m} = \lambda; \frac{A_p}{A_m} = \lambda^2; \frac{V_p}{V_m} = \lambda^3$$

Siendo λ la escala del prototipo en relación al modelo.

b) El modelo ha de ser dinámicamente semejante al prototipo.

Para que los fenómenos en el modelo y en el prototipo sean comparables no basta que los modelos de estructuras o máquinas hidráulicas sean geoméricamente semejantes a los prototipos, sino que también los flujos, o sea las líneas de corriente, han de ser semejantes. Para ello es necesario que las velocidades, aceleraciones, y fuerzas sean semejantes.

Cuando se cumple la semejanza geométrica y dinámica se dice que el modelo tiene semejanza cinemática con el prototipo.

Por lo tanto para una semejanza completa, supuesta la intervención de todas las fuerzas señaladas anteriormente, se debería cumplir:

$$\text{Ec. 1.34} \quad Eu_p = Eu_m; Fr_p = Fr_m; Ma_p = Ma_m; Re_p = Re_m; We_p = We_m$$

Esta condición sólo se cumple cuando el modelo y el prototipo tienen el mismo tamaño.

Afortunadamente, en un buen número de casos puede prescindirse de la influencia de tres de las fuerzas y consecuentemente, de sus tres adimensionales correspondientes.

- c) Semejanza Cinemática: Las líneas de corriente Ψ son iguales y la razón entre los módulos de velocidad entre prototipo y modelo debe ser constantes en todo el campo.
- d) Semejanza Térmica: Sistemas similares geoméricamente son similares en sentido térmico si los sistemas se están moviendo, son similares en sentido cinemático y las diferencias de temperatura mantienen una relación constante.
- e) Semejanza Química (opcional): Requiere que las diferencias de concentración establecidas en el modelo sean proporcionales a las diferencias de concentración establecidas en el prototipo.

El análisis dimensional es una poderosa herramienta que permite simplificar el estudio de cualquier fenómeno físico en el que estén involucradas Magnitudes físicas. Su resultado fundamental, permite cambiar el conjunto original de parámetros de entrada dimensionales de un problema físico por otro conjunto de parámetros de entrada adimensionales más reducido. Estos parámetros adimensionales se obtienen mediante combinaciones adecuadas de los parámetros dimensionales y no son únicos, aunque sí lo es el número mínimo necesario para estudiar cada sistema. De este modo, al obtener uno de estos conjuntos de tamaño mínimo se consigue:

- Analizar con mayor facilidad el sistema objeto de estudio.
- Reducir drásticamente el número de ensayos que debe realizarse para averiguar el comportamiento o respuesta del sistema.

El análisis dimensional también es la base de los ensayos con maquetas a escala reducida utilizados en muchas ramas de la ingeniería, tales como la aeronáutica, la automoción o la ingeniería civil.

A partir de dichos ensayos se obtiene información sobre lo que ocurre en el fenómeno a escala real cuando existe semejanza física entre el fenómeno real y el ensayo.

1.2.9 Tipos de Modelos Físicos Empleados.

1.2.9.1 Modelos Escalados.

Son diseñados sobre el principio de similitud. Este tipo de modelos se caracterizan porque tanto el modelo como el prototipo de campo presentan la misma relación de dimensiones, fuerzas, velocidades, diferencias de temperaturas y diferencias de concentración.

Sus resultados se pueden extrapolar al nivel del campo y son difíciles de obtener en la realidad.

1.2.9.2 Modelo No-Escalado.

Es también una representación del proceso en consideración, sin embargo, sus materiales y condiciones de operación son escogidas de tal forma que ellos representen las condiciones en algún punto en el campo, mientras sus dimensiones son seleccionadas basadas en el aspecto del recobro a ser estudiado y/o las limitantes físicas del equipo de prueba (ejemplo: corazonamientos).

Son importantes para identificar los parámetros del proceso, efectos de borde, obtener magnitudes relativas y valores de ciertos parámetros en los puntos finales (S_{or} y S_{wir}).

1.2.9.3 Modelos Parcialmente Escalados.

Son diseñados bajo las mismas condiciones de los modelos totalmente escalados, con la diferencia de que algunos criterios de escalamiento son relajados para poder representar aquellos que son más representativos del proceso. Son los más usados en el ámbito científico.

Los experimentos de laboratorio son ampliamente usados para investigar, directa o indirectamente, el comportamiento de la producción de yacimientos petrolíferos.

Tales experimentos son representativos del comportamiento de los yacimientos, si sus características y procesos en el modelo son adecuadamente escalados.

El comportamiento de los yacimientos de petróleo está gobernado por un número de variables, las cuales pueden ser combinadas en grupos adimensionales.

En la actualidad existen dos métodos ampliamente usados para la derivación de éstos grupos, el análisis dimensional y el análisis inspeccional.

1.3 DATOS DEL CAMPO Y SUPOSICIONES DEL MODELO

Al realizar el análisis dimensional y aplicar las relaciones necesarias para el escalamiento, se obtienen los siguientes datos.

Tabla 1. Datos del campo y suposiciones del modelo

DATOS DEL CAMPO Y SUPOSICIONES DEL MODELO				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
Largo	141,42	<i>m</i>	0,50	<i>m</i>
Espesor neto de la arena (<i>h</i>)	22,6272	<i>m</i>	0,08	<i>m</i>
Ancho (<i>A</i>)	141,42	<i>m</i>	0,50	<i>m</i>
Radio de Pozo (<i>r_w</i>)	0,262	<i>ft</i>	0,635	<i>cm</i>
Porosidad (ϕ)	0,18	<i>fracción</i>	0,3000	<i>fracción</i>
Permeabilidad promedio	100			
Temperatura del yacimiento (<i>T</i>)	116	°F	75	°F
Temperatura del yacimiento (<i>T</i>)	46,6666667	°C	23,8888889	°C
Presión de yacimiento (<i>P</i>)	1543	<i>Psi</i>		
Viscosidad del crudo (μ)	64	<i>cp</i>	442,57	<i>cp</i>
API	17	°API	25,7	°API
Gravedad del crudo (γ_o)	0,953		0,900	
Saturación inicial de agua (<i>S_{wi}</i>)	0,2	<i>fracción</i>	0,2	<i>fracción</i>
Presión de fondo fluyendo (<i>P_{wf}</i>)	600	<i>Psi</i>	14,5	<i>Psi</i>
Ángulo de inclinación (<i>a</i>)	73	<i>grados</i>	73	<i>grados</i>

Datos Requeridos	
Datos Calculados	
Datos Asumidos	

Cálculo del Factor de Escala	
Parámetro	Valor
a	282,8400

Cálculo de Propiedades de los fluidos				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
C_w	1,0043	$Btu/lb^{\circ}F$	1,0151	$Btu/lb^{\circ}F$
C_o	0,4510	$Btu/lb^{\circ}F$	0,4445	$Btu/lb^{\circ}F$
λ_{agua}	0,1534	$Btu/hr-ft^{\circ}F$	0,1573	$Btu/hr-ft^{\circ}F$
λ_{aceite}	0,0693	$Btu/hr-ft^{\circ}F$	0,0742	$Btu/hr-ft^{\circ}F$
$\lambda_{fluidos}$	0,0861	$Btu/hr-ft^{\circ}F$	0,0908	$Btu/hr-ft^{\circ}F$
$\lambda_{formacion}$	0,3119	$Btu/hr-ft^{\circ}F$	0,2681	$Btu/hr-ft^{\circ}F$
h_{agua}	114,490911	$Btu/hr-ft$	147,188594	$Btu/hr-ft$
h_{aceite}	51,4090876	$Btu/hr-ft$	64,4571567	$Btu/hr-ft$
ρ_{aceite_ref}	59,49	lb/ft^3	56,19	lb/ft^3
C_1	0,02		0,02	
C_2	0,0000063		0,0000049	
ρ_{aceite_T}	58,38	lb/ft^3	55,88	lb/ft^3
ρ_{agua_T}	61,89	lb/ft^3	62,46	lb/ft^3
μ_{agua_T}	0,63	cp	4,36	cp

Cálculo de la Permeabilidad en el Modelo				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
K	100	md	186145	md

Cálculo de la Tasa de salmuera				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
$Tasa_salmuera$	10	Bb/d	0,05982	cc/seg

DATOS FORMACIONES ADYACENTES				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
Largo (L)	141,42	m	0,50	m
Espesor neto de la arcilla (h)	14,142	m	0,05	m
Ancho (A)	141,42	m	0,50	m
Porosidad (ϕ)	0,15	$fracción$	0,3000	$fracción$
$Resistividad_{formación}$	10	$ohm-m$	4,67	$ohm-m$
$F_{formación}$	44,16		13,75	
$\Lambda_{formacion}$	0,4808	$Btu/hr-ft^{\circ}F$	0,3870	$Btu/hr-ft^{\circ}F$

Cálculo del Diferencial de Temperatura				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
T_{max}	230	$^{\circ}F$	220	$^{\circ}F$
ΔT	114	$^{\circ}F$	145	$^{\circ}F$
$Relación\ T$	0,7862			

Cálculo de la Presión en el Modelo				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
Calent. Seco				
P_{Prod}	600	<i>Psi</i>	14,5	<i>Psi</i>
ΔP	943	<i>Psi</i>	3,1913	<i>Psi</i>
P_{yac}	1543	<i>Psi</i>	18	<i>Psi</i>
Calent. Húmedo				
P_{Prod}	600	<i>Psi</i>	14,5	<i>Psi</i>
P_{iny}	1850	<i>Psi</i>	18,9606	<i>Psi</i>
ΔP	1250	<i>Psi</i>	4,4606	<i>Psi</i>

Cálculo del Voltaje aplicado al Modelo				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
Rw_T	0,23	<i>ohm-m</i>	0,34	<i>ohm-m</i>
$F_{formación}$	30,86		9	
$Resistividad_{formación}$	174,73	<i>ohm-m</i>	76,50	<i>ohm-m</i>
$Voltaje$	480,00	<i>V</i>	332,08	<i>V</i>
$Potencia_{disipada}$	29102,54	<i>W</i>	218,12	<i>W</i>
$Corriente$	60,63	<i>A</i>	0,66	<i>A</i>

Cálculo del Tiempo				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
$Tiempo$	6	<i>meses</i>	3,55675	<i>min.</i>

Fuente: Centro de investigación del gas y del petróleo CIGP

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 METODOS DE CALENTAMIENTO ELECTRICO EN RESERVAS DE CRUDO PESADO

Autores: *Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹*

Los procesos de inyección de vapor pueden llegar a ser bastante eficientes, no obstante su aplicabilidad se limita en muchas ocasiones como en casos donde el pozo es muy profundo, la pérdida de calor en la tubería es significativa, donde la calidad del alcance del vapor inyectado es muy baja, y donde las zonas adyacentes son muy delgadas y la pérdida de calor es alta.

En el estudio realizado se discuten métodos alternativos de calentamiento en reservas de crudo pesado, en donde pueden ser económicamente viables otros métodos alternativos de calentamiento diferentes al vapor, en ciertas situaciones donde no es posible aplicarse la inyección de vapor.

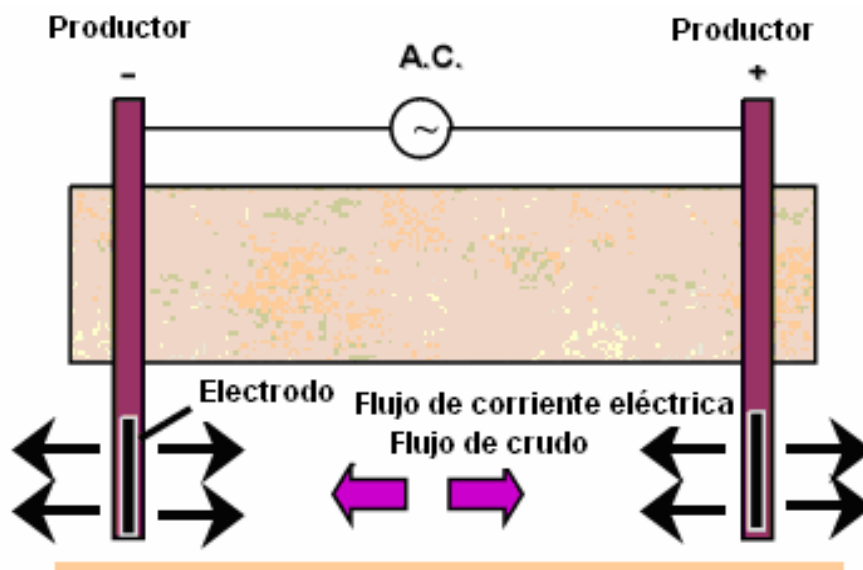
Se describen dos métodos como son: calentamiento eléctrico resistivo (ohmnico) a baja frecuencia y calentamiento eléctrico de alta frecuencia por microondas.

Se demostró la aplicabilidad con dos depósitos, uno que está conformado por delgadas capas de arena separadas por capas de roca impermeable y un aceite viscoso y otro en el que la permeabilidad de la capa es baja.

2.1.1 Calentamiento Eléctrico Resistivo a Baja Frecuencia.

El calentamiento eléctrico resistivo u ohmico ocurre cuando la corriente alterna de baja frecuencia fluye a través de la reserva y la energía eléctrica se convierte en calor. Como se ve en la configuración de la figura 3, dos pozos productores vecinos actúan uno como cátodo y otro como ánodo, y la diferencia de potencial se aplica a través de dos electrodos y la trayectoria que sigue la corriente eléctrica es trazada por la formación de agua. Es entonces que para mantener el circuito eléctrico la temperatura de la formación deberá mantenerse cerca al punto de ebullición del agua (a la presión de la formación).

Figura 3. Esquema del calentamiento eléctrico resistivo



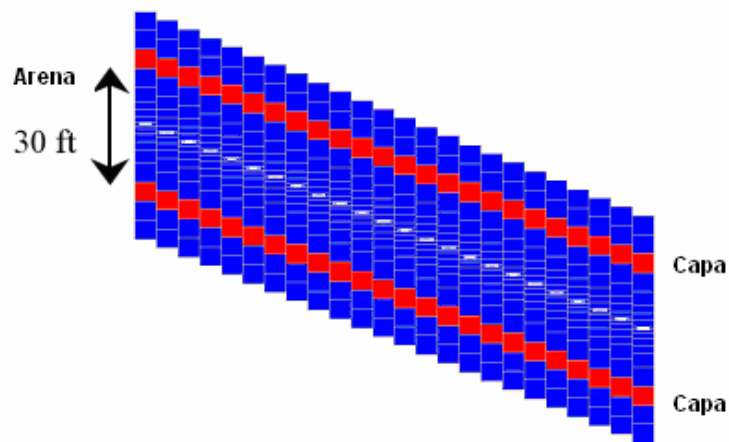
Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

2.1.1.1 Características del Modelo Simulado.

1. El modelo simulado es un modelo cartesiano tridimensional de 24 x 24 x 18 hecho de mallas de bloques con $\Delta x = \Delta y = 14.32$ ft y Δz variable con enmallado fino cerca de los pozos horizontales.
2. Como se observa en la figura 4, el espesor de arena es de 30 pies y las capas aledañas a la formación de 10 pies cada una. Las tres arenas están separadas por dos capas impermeables de 5 pies de espesor.

Figura 4. Esquema de un modelo de una reserva aplicando calentamiento eléctrico a baja frecuencia (Ejemplo 1)



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

3. Crudo de formación con 14.1 °API y peso molecular de 400.

4. Viscosidad a 95° F es de 9541cp; la relación de viscosidad-temperatura se da en la Tabla 2.
5. Saturación de crudo inicial = 0.5, saturación inicial de agua =0.5, presión inicial de la reserva =360 psia desde el inicio de la formación hasta una profundidad de 800pies.El precalentamiento fue prediseñado a 300 v, 2 fases AC a 60 Hz.
6. El precalentamiento fue prediseñado a 300 v, 2 fases AC a 60 Hz.
7. Tasa Inyección de vapor constante de 200 Bbls/Día con una calidad = 0.7 mantenida a lo largo de la simulación.
8. Presión de producción constante a 14.7 psia
9. El pozo inyector se completa en capas desde la 4 hasta la 9 mientras que el productor se completa a lo largo de la capa 9.
10. Se especifican curvas de permeabilidad relativa.

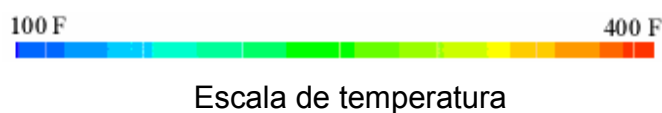
Tabla 2. Viscosidad del crudo-temperatura para el ejemplo 1

Temperatura (°F)	Viscosidad de crudo (cp)
95	9541
100	6543
120	2230
140	866,4
160	410,9
180	213,4
200	122,4
210	90
220	74,8
240	47,3
280	23
340	9,6
380	7
400	5,2
500	3
600	1,4
800	1
1000	0,5

Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

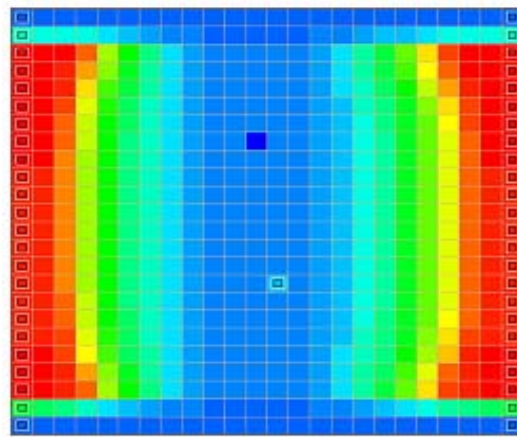
Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

2.1.1.2 Análisis de la Simulación por Calentamiento Eléctrico Resistivo.



A continuación se grafican los resultados obtenidos por la estimulación a baja frecuencia (Ver figura 5).

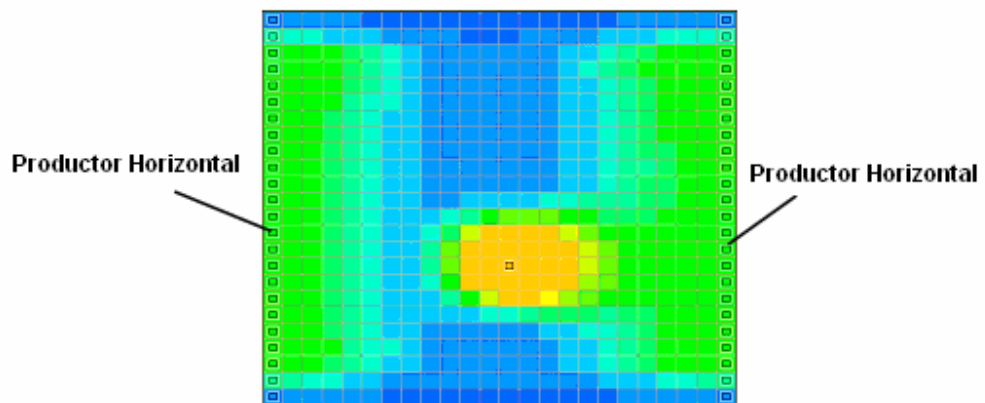
Figura 5. Temperatura a los 6 meses de precalentamiento (en la capa 9)



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

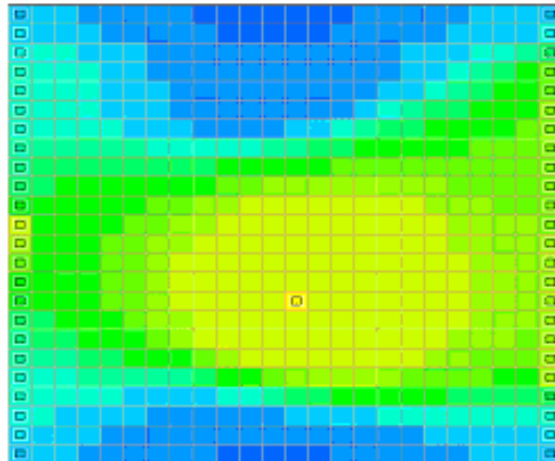
Figura 6. Temperatura después de 2 meses de inyección de vapor luego de 6 meses de precalentamiento (en la capa 9)



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

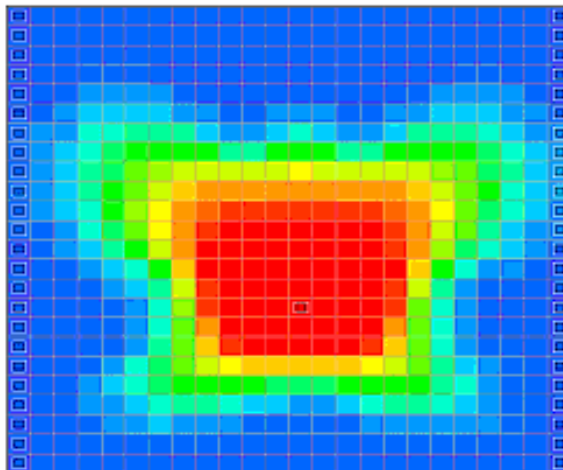
Figura 7. Temperatura después de 1 año de inyección de vapor luego de 6 meses de precalentamiento (en la capa 9)



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

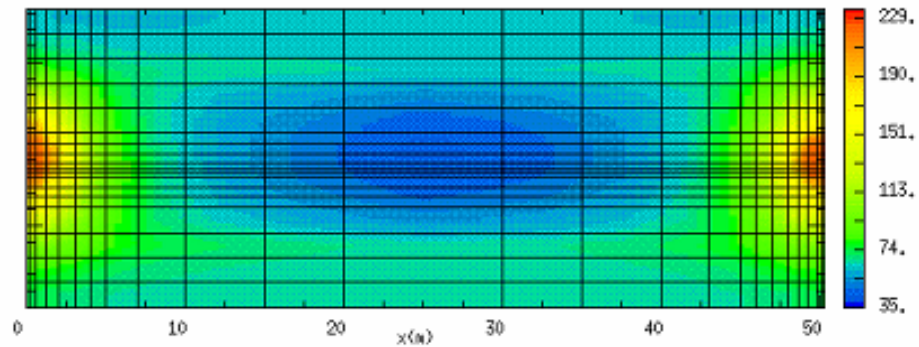
Figura 8. Temperatura después de 1 año de inyección de vapor en una reserva fría



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

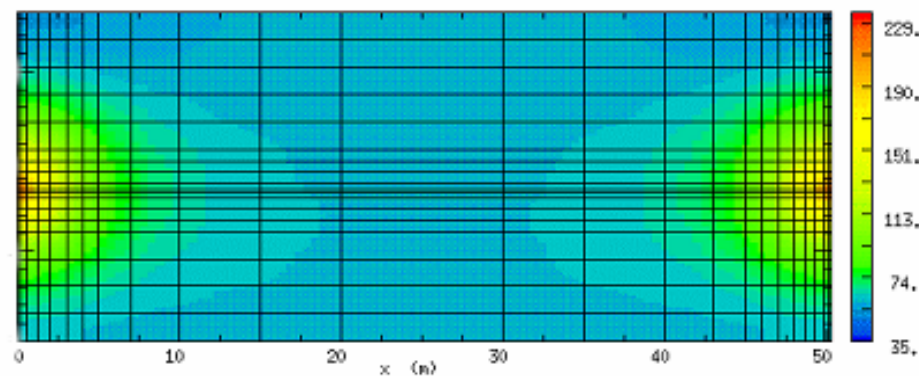
Figura 9. Cuadrantes X-Z del ejemplo 1 mostrando la distribución de temperatura después de 12 meses de calentamiento eléctrico



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

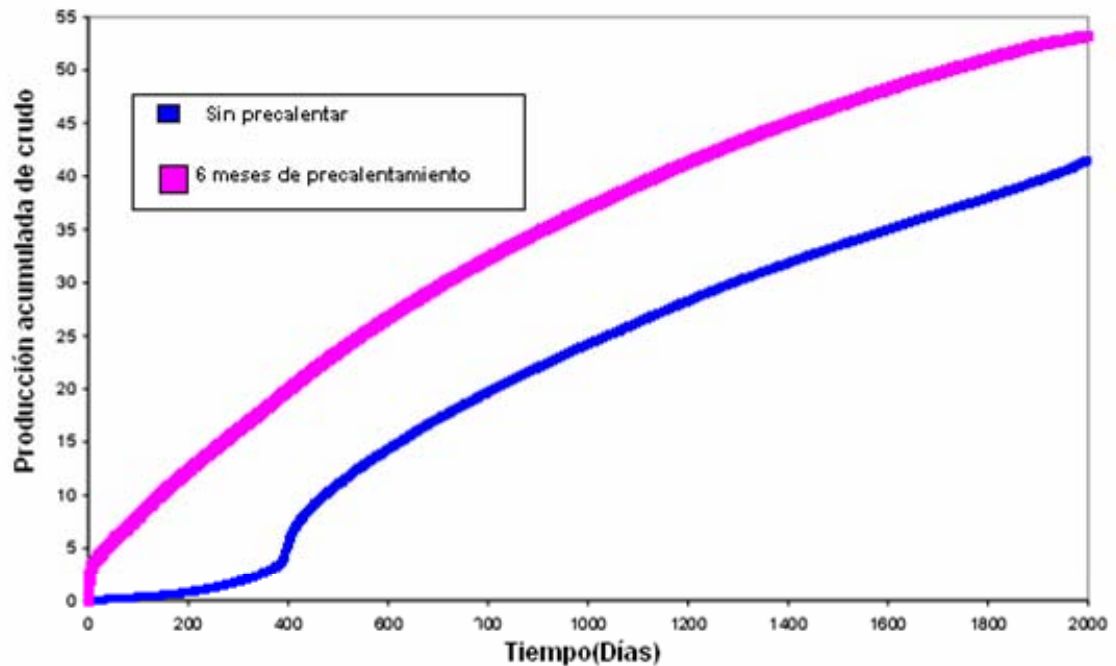
Figura 10. Cuadrantes X-Z del ejemplo1 (sin capas de roca) mostrando la distribución de temperatura después de 12 meses de calentamiento eléctrico



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

Figura 11. Producción acumulada de crudo de pozos horizontales con y sin precalentamiento



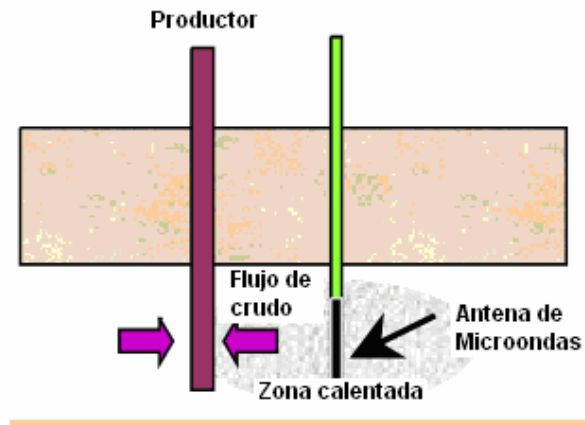
Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

2.1.2 Calentamiento por Microondas.

El calentamiento por alta frecuencia se realiza utilizando una antena que envía señales de microondas, ubicada en una parte baja, cerca de la formación inicialmente a una frecuencia de 0.915 GHz. Como se ve en la figura 12 la saturación de crudo es mejor en las capas más bajas y la segregación gravitacional ayuda en el proceso de recobro mejorado.

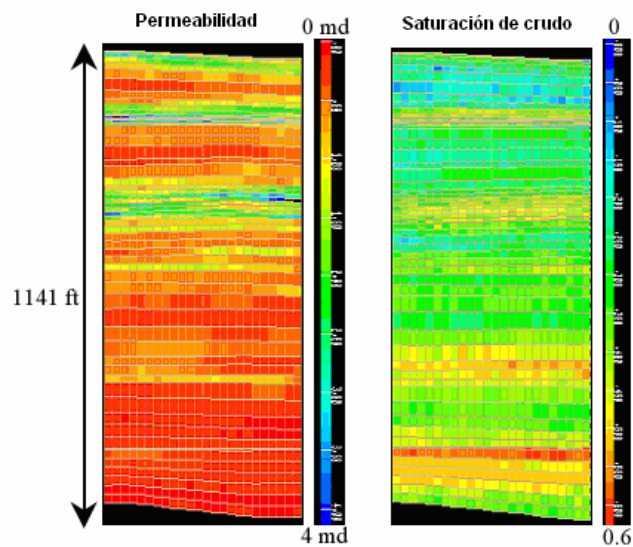
Figura 12. Esquema del calentamiento por microondas



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

Figura 13. Permeabilidad y saturación de crudo para el ejemplo 2



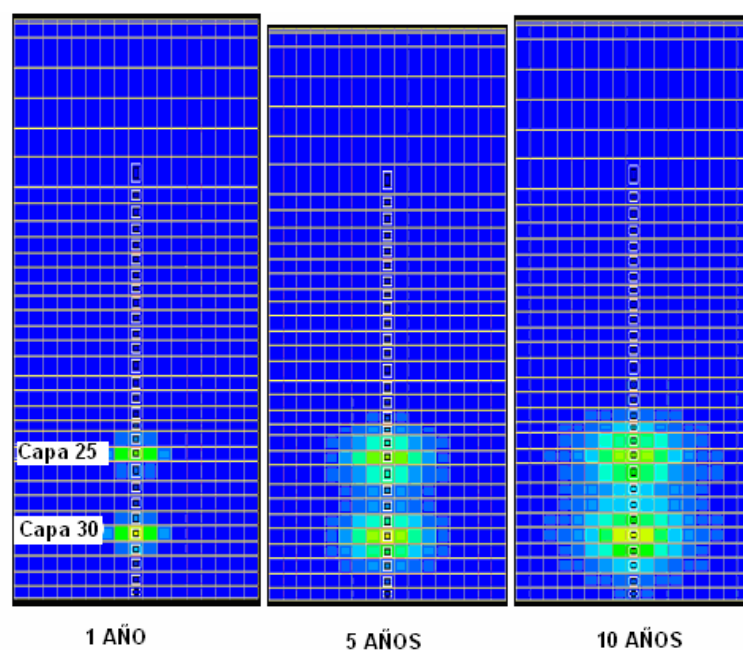
Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

2.1.2.1 Características de la Simulación.

La frecuencia inicial está establecida a 0.915 GHz a una distancia aproximada de 30 pies cerca del pozo productor.

Figura 14. Distribución de temperatura para el caso 6: Fuente de microonda de 60 Kw. en las capas 25 y 30



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

1. El modelo simulado es un modelo cartesiano tridimensional de 17 x 17 x 34 hecho de mallas de bloques con $\Delta x = 19.41$ ft $\Delta y = 22.85$ ft y Δz variable.
2. A una temperatura inicial de 100 ° F la viscosidad es de 33.11 cp. La relación viscosidad temperatura es mostrada en la tabla 3.

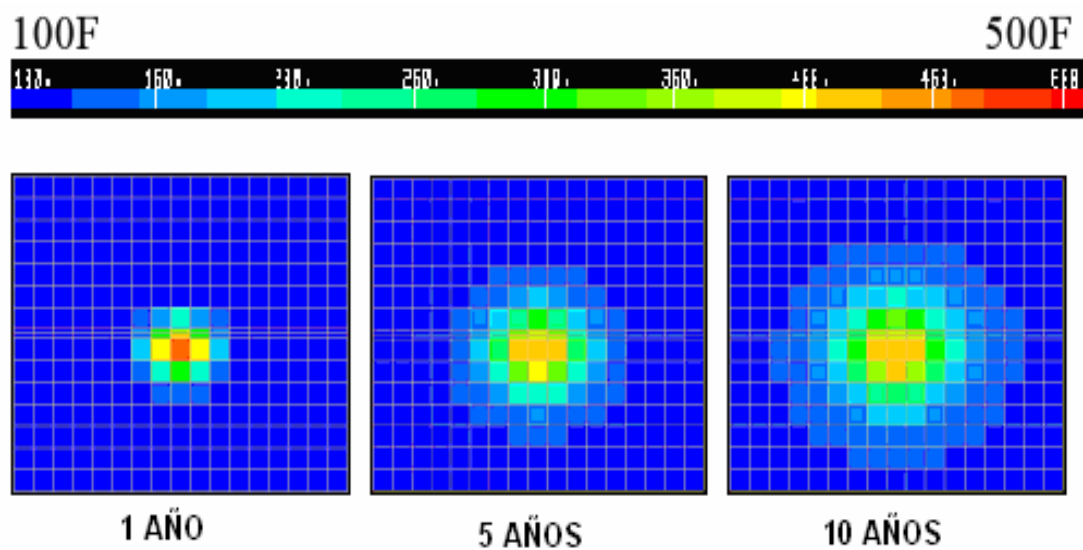
3. Este modelo representa capas heterogéneas de baja permeabilidad. En la figura 11 se observa un cuadrante del campo permeable a través del centro del modelo. $\Phi = 0.47$.
4. Presión inicial para la simulación de 194psia desde el inicio de la formación hasta una profundidad de 806 pies. En las capas más bajas donde se localiza la antenna, la presión inicial es cercana a los 1300psia.
5. Se asume que la antenna tiene una longitud de 30 pies y es colocada a 10 pies del pozo productor.
6. Como se mencionó antes, la fuente de frecuencia de microondas es de 0.915 GHz. La potencia y número de capas en esta prueba se varió, se muestra a continuación:
 - a) Caso 1: fuente de 30 Kw. en la capa 30 (1800 pies de profundidad)
 - b) Caso 2: fuente de 45 Kw. en la capa 30 (1800 pies de profundidad)
 - c) Caso 3: fuente de 60 Kw. en la capa 30 (1800 pies de profundidad)
 - d) Caso 6: fuente de 60 Kw. en la capa 30 (1800 pies de profundidad) y una segunda fuente de 60 Kw. en la capa 25 a una profundidad de 1642 pies.
7. El pozo productor es operado a un flujo constante a una presión de 90 psia.

2.1.2.2 Análisis de la Simulación del Calentamiento por Microondas.

Después de 5 años de calentamiento la temperatura a una distancia de 60 pies de la fuente la temperatura es de unos 200 ° F.

Los mapas de temperatura se muestran en las figuras 14 y 15, mientras que en la figura 16 se grafica una distribución radial de la temperatura con una fuente de microondas de 60 Kw. La figura 17 muestra una comparación de producción de crudo en diferentes situaciones.

Figura 15. Distribución de temperatura para el caso 6 (capa 30)



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

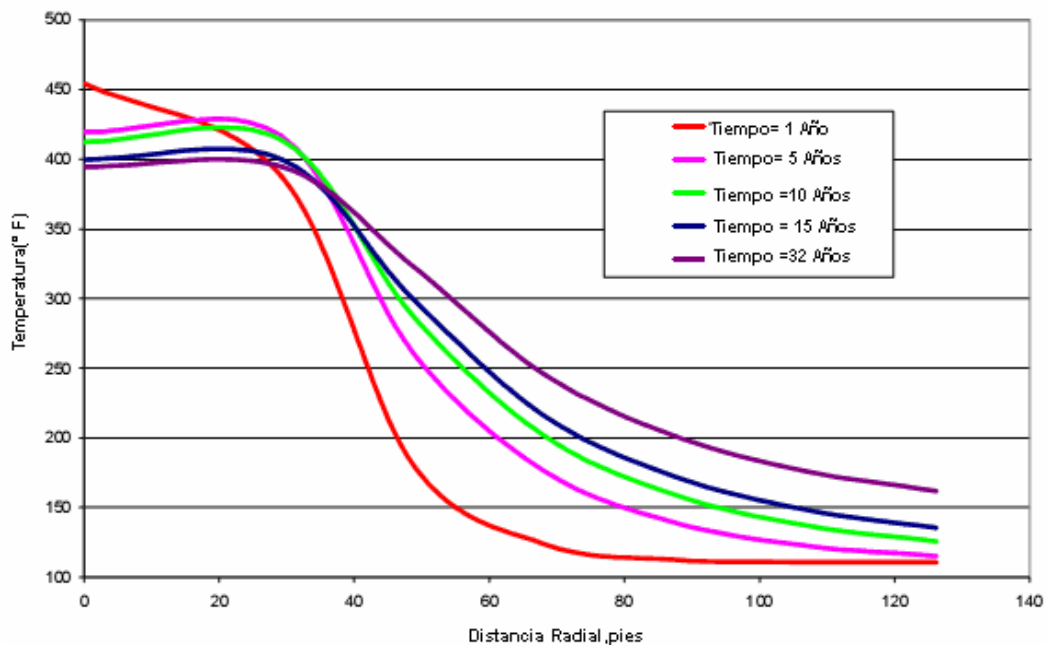
Tabla 3. Viscosidad de crudo-Temperatura para el ejemplo 2

Temperatura (°F)	Viscosidad de crudo (cp)
100	33,11
111	15,86
150	6,031
200	2,057
250	1,002
300	0,607
350	0,427
400	0,33
450	0,27
500	0,235
550	0,209
600	0,193

Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

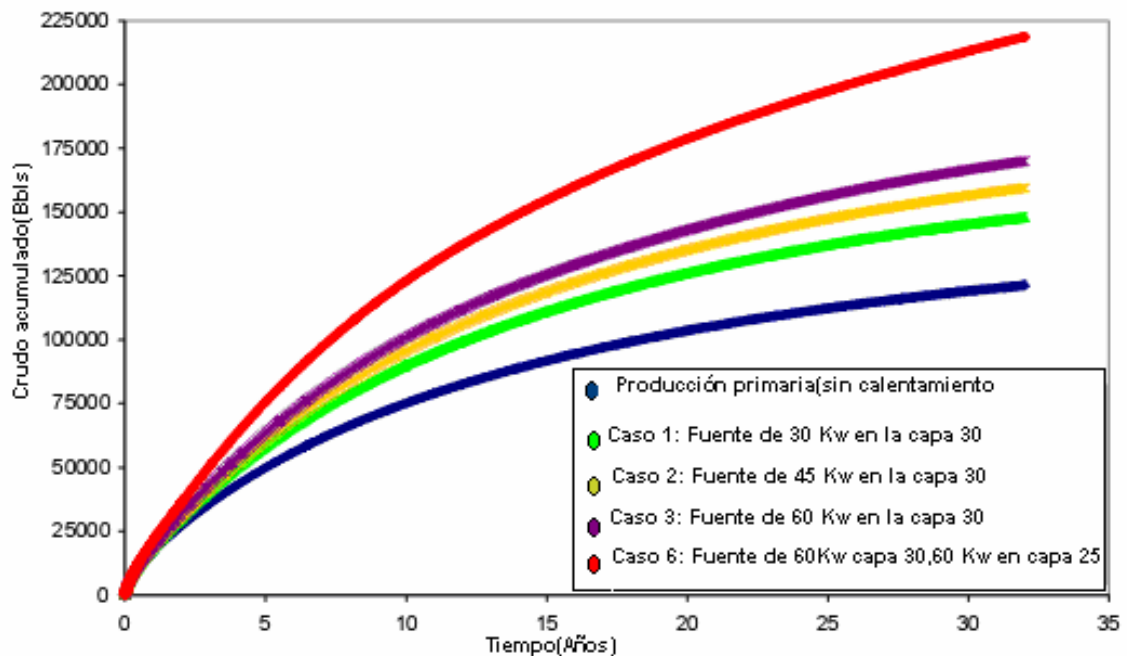
Figura 16. Distribución de la temperatura con una fuente de microondas cercana



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

Figura 17. Producción acumulada de crudo en diferentes situaciones para el ejemplo 2



Fuente: Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs

Autores: Akshay Sahni, Mridul Kumar, Chevron Petroleum Technology Company; Richard B. Knapp, Lawrence Livermore National Laboratory³¹

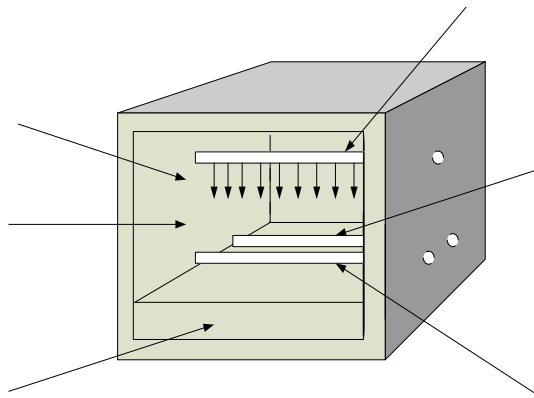
2.2 NUEVA TECNICA DE RECOBRO PARA RESERVAS DE CRUDO PESADO CON AGUA EN FONDO

Autores: Islam, M.R., Chakma, Amit, U. of Calgary³²

Los ensayos realizados en este modelo físico escalado se hicieron para comprobar la factibilidad de la inyección de gas inerte con calentamiento electromagnético, las variables estudiadas fueron relación de espesor crudo/zona de agua, viscosidad del crudo, tasa de inyección del gas inerte y temperatura del pozo productor. Se obtuvo un desplazamiento del 77% de crudo en pozos con presencia de zonas de agua en fondo tan delgadas como el espesor de crudo.

Una serie de experimentos se realizaron en una celda visual y el resto de los experimentos se hizo en un modelo físico escalado. La celda visual es una representación típica de un modelo 2D de un medio poroso, que consistía en una caja rectangular con dimensiones de 30.5 x 30.5 x 0.6 cm. con un vidrio delgado en el frente y una película de plexiglás, en la parte de atrás (Fig.18). Estos materiales ayudaron a reducir la pérdida de calor en las paredes.

Figura 18. Esquema del modelo visual



Fuente: A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs With Bottomwater

Autores: Islam, M.R., Chakma, Amit, U. of Calgary³²

El modelo escalado fue diseñado para representar una reserva de crudo pesado con arena de Aberfeldy con capas de 10m y zonas de agua de espesor delgado. El modelo escalado era un prototipo de alta presión y temperatura; se representaron 30m de los 300 m del pozo horizontal, la siguiente tabla representa las características del modelo y del prototipo.

Frente de desplazamiento de gas

Zona de crudo

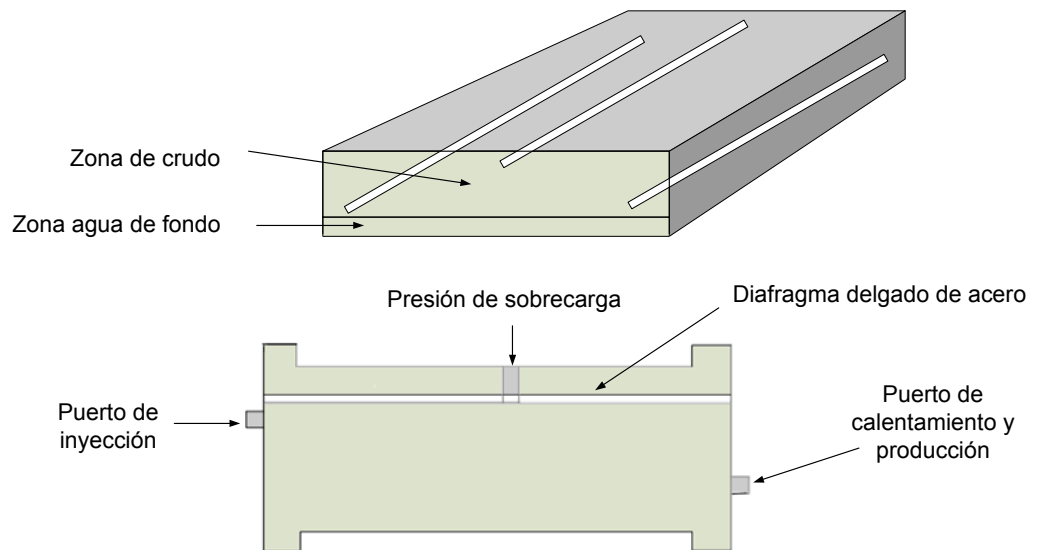
Tabla 4. Características del modelo y el prototipo

	Prototipo	Modelo
Espaciamiento del pozo productor, m	60	0,6
Espaciamiento pozo inyector/productor, m	30	0,3
Espesor prototipo, m	10	0,1
Permeabilidad, μm^2	5	5
Inyección de fluidos, %		
Crudo	70	70
Gas	20	20
Agua	10	10
Saturación de agua corridas		
Crudo	90	90
Agua	10	10
Presión de producción, Kpa	210	210
Temperatura, °C	22	22
Presión de inyección de gas, Kpa	30	30
Tiempo	7 años	6,2 horas
Diámetro del pozo, cm	20	0,2
Viscosidad del crudo, mPa.s		
Corrida 1,2,4,7	750	750
Corrida 3	5000	5000

Fuente: A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs With Bottomwater

Autores: Islam, M.R., Chakma, Amit, U. of Calgary³²

Figura 19. Esquema del modelo escalado

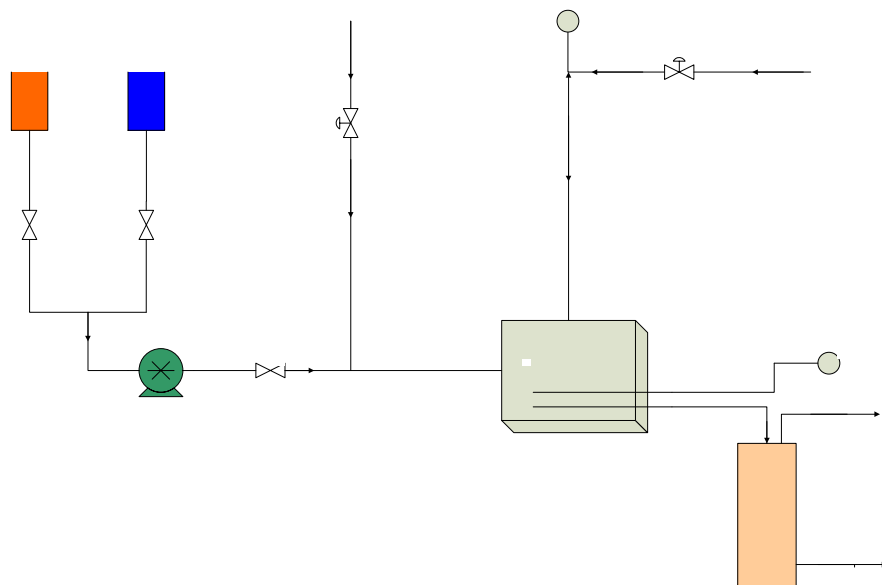


Fuente: A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs With Bottomwater

Autores: Islam, M.R., Chakma, Amit, U. of Calgary³²

En la figura 20 se observa el sistema de inyección y producción.

Figura 20. Esquema del aparato experimental



Fuente: A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs With Bottomwater

Autores: Islam, M.R., Chakma, Amit, U. of Calgary³²

2.3 SIMULACION FISICA Y NUMERICA DE INUNDACION DE VAPOR EN UNA RESERVA MEDIANA DE CRUDO

Autores: Cesar Ovalles, Ángel Rico, Alfredo Pérez-Pérez, Miguel Hernández, Nora Guzmán, Lorenzo Anselmi, Eduardo Manrique, PDVSA-Intevep³³

2.3.1 Simulación Física.

Las propiedades del crudo (25° API) se muestran en la tabla 5, el modelo experimental se muestra en la figura 21.

En general, consiste de un generador de vapor, dos bombas de desplazamiento positivo, una celda de arena para pruebas de desplazamiento (30 cm. de longitud por 3.8 cm. de diámetro), un pistón que contiene el medio viscoso, dos cilindros para las muestras de recolección, 10 controladores de temperatura conectados a 5 termocuplas internas (T1 a T5) y a 5 externas (usadas para controlar la temperatura) y un regulador back pressure, todos los datos son recogidos en un PC para su posterior almacenamiento y análisis.

Un experimento típico es como sigue: 1.57 cc/min de agua alimenta al generador de vapor y es mezclada con 0.27 cc/min de agua fría para generar 1.84 cc/min de agua fría equivalente a vapor de calidad 80 % a 400psi. Pruebas en condiciones adiabáticas usando calentadores externos en un rango de temperatura de 160-230 °C.

Al final de la corrida (se determina cuando para la producción de crudo) cada muestra es pesada y el agua separada adicionando tolueno. Por diferencia de densidades, la cantidad de crudo fue calculada y el balance de masa estuvo entre el 95-102 %.

Después de cada corrida, la arena empacada fue limpiada con cloroformo y la saturación de crudo residual fue medida, removiendo este solvente por vacío.

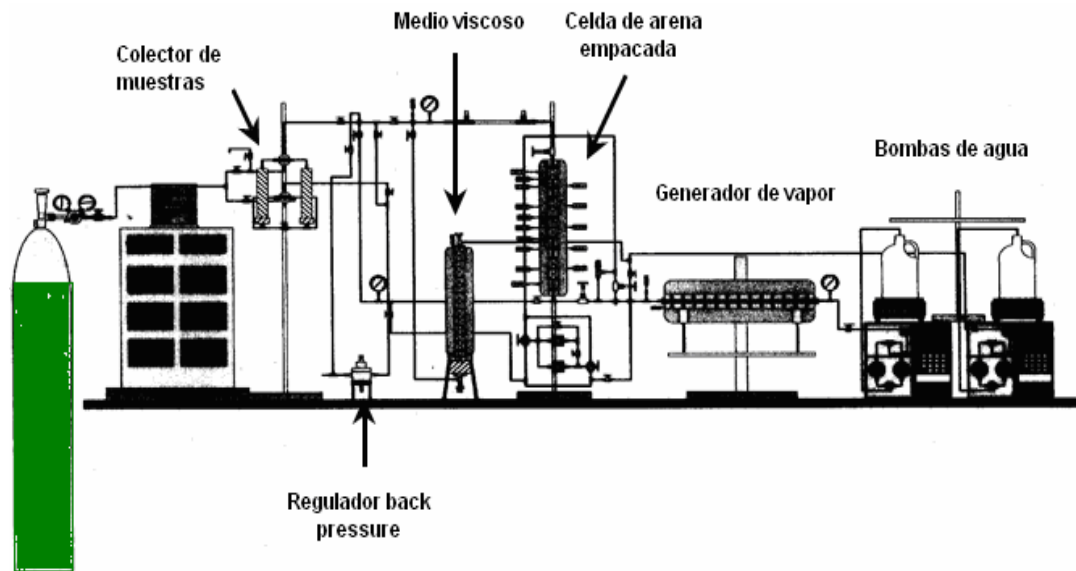
Tabla 5. Propiedades del medio viscoso

Muestra	% Campo (%W) ^a	Densidad (g/cc) ^b	Viscosidad (cp) ^c	Peso Molecular (g/mol) ^d	Destilación simulada ^e
Crudo original		0,8959 (25°) ^f	33,2 (40°C) 16 (60°C)	404 ^g 306 ^h	IBP @ 80°C 20%@280°C 40%@403°C 60%@528°C
Fracción ligera	29,7	0,7994 (45°) ^f	1,2 (30°C)	159 ^g 222 ^h	IBP @ 21°C 20%@130°C 40%@190°C 60%@235°C 80%@282°C FBP@417°C
Fracción media	27,98	0,9067 (23°) ^f	41,9 (30°C) 32,8 (40°C) 12,8 (60°)	337 ^g 317 ^h	IBP @ 258°C 20%@345°C 40%@386°C 60%@422°C 80%@456°C FBP@544°C
Fracción pesada	42,32	1,0283 (6°) ^f	24110 (60°C) 3820 (80°C)	920 ^g	IBP @ 435°C 20%@537°C 40%@602°C 46%@623°C

Fuente: Physical and Numerical Simulations of Steamflooding in a Medium Crude Oil Reservoir, Lake Maracaibo, Venezuela

Autores: Cesar Ovalles, Ángel Rico, Alfredo Pérez-Pérez, Miguel Hernández, Nora Guzmán, Lorenzo Anselmi, Eduardo Manrique, PDVSA-Intevep ³³

Figura 21. Esquema del aparato experimental usado para la simulación física escalada con inundación de vapor en un medio viscoso.



Fuente: Physical and Numerical Simulations of Steamflooding in a Medium Crude Oil Reservoir, Lake Maracaibo, Venezuela

Autores: Cesar Ovalles, Ángel Rico, Alfredo Pérez-Pérez, Miguel Hernández, Nora Guzmán, Lorenzo Anselmi, Eduardo Manrique, PDVSA-Intevep³³

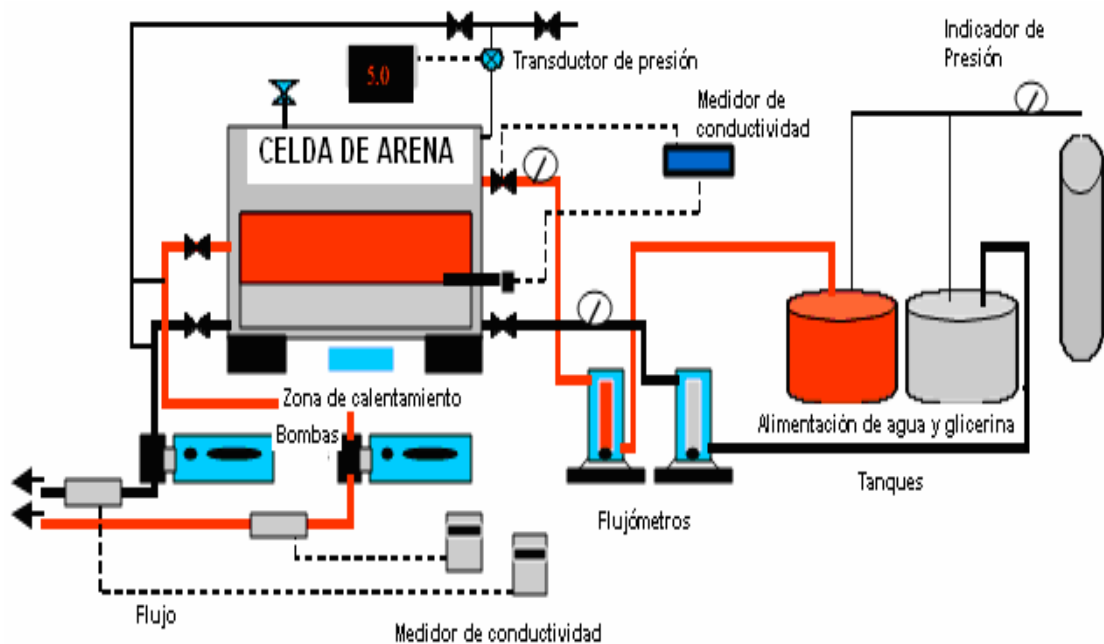
2.4 ESTUDIO DEL CONTROL DE AGUA EN POZOS POR INYECCION O BARRERAS DE FLUJO NATURAL USANDO MODELO FISICO Y SIMULADOR NUMERICO

Autores: Sarmad S. Siddiqi, Andrew K. Wojtanowicz, Louisiana State University³⁴

Se representó la reserva entera con un segmento de los alrededores del pozo productor. La porción, un empaque de arena de forma radial usada en este estudio representa un 24° de fracción de un volumen circular de un pie de espesor radial y un radio total de 36 pulgadas. El espesor original de la formación era de 1,5 pies

pero 0,5 pies de superficie se usó para llenar con agua y crear un efecto acuífero con permeabilidad infinita.

Figura 22. Esquema del equipo experimental



Fuente: A Study of Water Coning Control in Oil Wells by Injected or Natural Flow Barriers Using Scaled Physical Model and Numerical Simulator

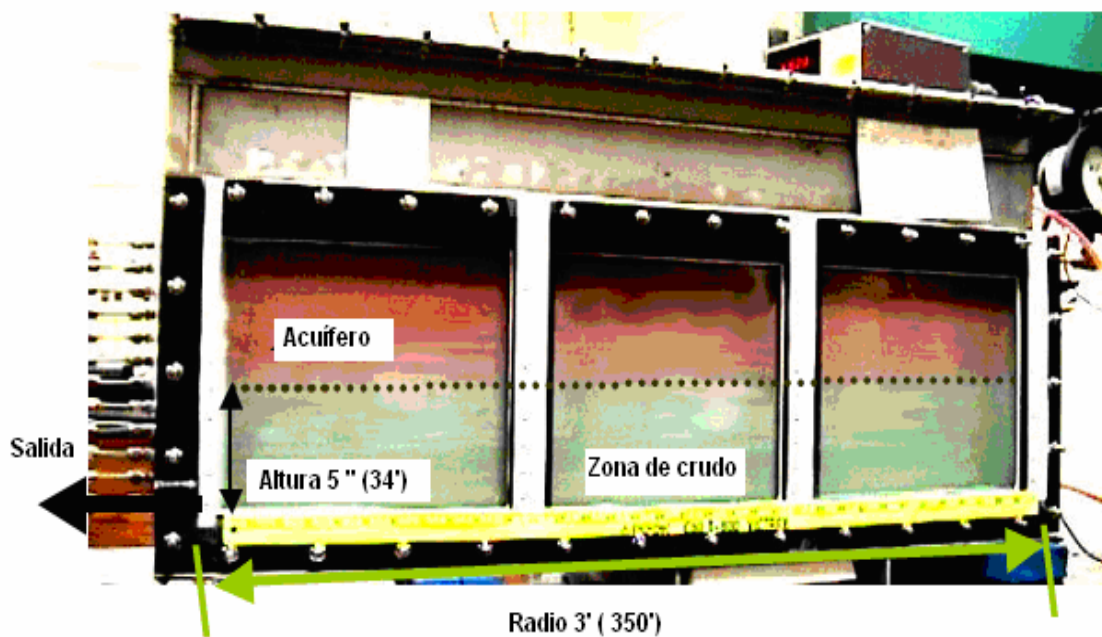
Autores: Sarmad S. Siddiqi, Andrew K. Wojtanowicz, Louisiana State University ³⁴

Un plato de vidrio con un espesor de $\frac{3}{4}$ de pulgada se instaló en un lado del modelo para una mejor visualización del mismo. El rango de presión para estos modelos es gobernado por el espesor del vidrio de visualización. Para el experimento se probó hasta 10 psi y se dejó este valor límite para el experimento.

El escalamiento del diámetro del pozo no fue posible obtenerlo por la insignificante talla del pozo comparada con las otras dimensiones del sistema.

En este modelo dos diferentes pero completamente miscibles, representaron el agua y el aceite. Los fluidos utilizados en la simulación tienen viscosidades, densidades y colores además de las diferentes resistividades eléctricas.

Figura 23. Modelo escalado



Fuente: A Study of Water Coning Control in Oil Wells by Injected or Natural Flow Barriers Using Scaled Physical Model and Numerical Simulator

Autores: Sarmad S. Siddiqi, Andrew K. Wojtanowicz, Louisiana State University ³⁴

Para este estudio el prototipo del campo, el cual ha sido modelado en el modelo físico escalado, tiene las propiedades mostradas en la tabla 6.

Tabla 6. Propiedades del prototipo de campo inyector de flujo natural

Parámetro	Valor del prototipo de campo	Unidad	Modelo fisico	Unidad
Tasa de flujo	3000	STB/ day	8	ml/min
Tiempo	30	days	60	mins
Vert. A horz. Perm.	0,5		1	
Viscosidad del crudo	1,7	cp	1,7	cp
Distancia entre pozos	700	ft	6	ft
Altura zona crudo	34	ft	5	inches
Porosidad	35	%	35	%
Viscosidad del agua	1	cp	1	cp
Dif de densidades	0,1	gm/cc	0,1	gm/cc
Penetración	6,9	ft	1	inch

Fuente: A Study of Water Coning Control in Oil Wells by Injected or Natural Flow Barriers Using Scaled Physical Model and Numerical Simulator

Autores: Sarmad S. Siddiqi, Andrew K. Wojtanowicz, Louisiana State University ³⁴

3. PRUEBAS REALIZADAS A LA ARENA

El objetivo de muestrear arenas es el de obtener un espécimen representativo para ensayos rutinarios de arenas. Las pruebas se realizan según la norma de la AFS (AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY) ³⁵.

Las pruebas se realizaron con arena uniforme mesh 80-120 en los laboratorios de la planta de aceros de la Universidad Industrial de Santander, teniendo en cuenta que la media del análisis granulométrico de las arenas del campo La Hocha 1 correspondía a éste patrón.

Estos ensayos se realizaron para conocer el análisis granulométrico de la arena de prueba y así conocer el porcentaje de compactibilidad que se debe de obtener en el modelo físico escalado.

Se recomienda para la preparación previa de la arena seleccionar una superficie dura y limpia libre de grietas y protegida de la lluvia, viento y sol fuerte; evitar la contaminación de la muestra con cenizas, astillas del piso y cualquier otro material extraño.

Para obtener resultados que se acerquen más a la realidad se aconseja tomar directamente arena del campo la HOCHA.

3.1 NORMA PARA MUESTREO DE ARENA³⁶

1. Propósito del muestreo:

El requisito primordial en un muestreo de embarque de arena es el de obtener, en cuanto sea posible, una muestra representativa del embarque, caso omiso de su tamaño.

2. Momento del muestreo:

Las muestras se deben coleccionar cuando la arena se está cargando o descargando del equipo transportador¹.

Quitar los 75 mm (3 plg) superiores de la carga y tomar el número de muestras necesarias (nunca menos de 10 para una carga de aproximadamente 50 a 70 toneladas muestra).

3. Tamaño y número de muestras:

El número de muestras más pequeñas (nunca menos de 10) tomadas para acumular la muestra en bruto varía con el tipo, condición y cantidad del material a ensayar. Estas muestras más pequeñas deben seleccionarse para que la muestra final en bruto sea representativa de todo el embarque o toda una sección del embarque.

El ensayo de una muestra en bruto mal seleccionada es peor que no hacer el ensayo.

4. Mezclado de arenas

Los terrones que contenga cualquier muestra deben ser desmenuzados y la arena mezclada sistemáticamente.

Reducción de arenas aglutinadas naturalmente y arenas mojadas o humedecidas.

Las muestras grandes en bruto se reducen por medio del método alternativo de pala.

Se hace una reducción posterior por el método de cuarteo, como se ilustrará más adelante.

5. Reducción de muestras de arena de flujo libre

Las muestras pueden ser divididas en dos y cuatro partes, de acuerdo con el método de reducción mencionado anteriormente, hasta un tamaño de unos 13.5 Kg. (30 lb.) o menos, y entonces reducidas a un tamaño de ensayo de 4.5 Kg. por medio de un divisor de muestras. No se recomienda la adición o remoción de pequeñas cantidades para hacer muestras de 50 gramos.

3.2 PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Colocar la muestra seca sobre el tamiz superior de la serie norma. El uso de un divisor de muestras ayuda a eliminar errores debidos a la influencia de la segregación de arena sobre la muestra de la misma y el análisis granulométrico resultante.

Después de completar el análisis granulométrico, la muestra debe calcularse sobre una base del 100%.

Colocar la cubierta sobre el conjunto de tamices, colocar los tamices en el Rotap y sacudirlos durante 15 minutos antes de retirarlos del agitador. La máquina Rotap es un agitador norma.

Los terrones de grano de arena que no se hayan desmoronado durante el proceso de separación de la arena AFS no deben disgregarse a mano durante el proceso de tamizado, porque esto puede conducir a errores en el comportamiento de la arena.

Después de agitar quitar la cubierta y, comenzando con el tamiz superior, invertir sobre una tela ahulada o papel de superficie dura y cepillar la superficie del tamiz con un cepillo de alambre de latón diseñado para este propósito.

Golpear ligeramente los lados del tamiz con el mango del cepillo para facilitar su limpieza. Como ya se ha aconsejado anteriormente los tamices deben manejarse cuidadosamente para no deformar la redondez de los marcos o el tamaño de las aberturas de las Cribas.

Después de registrar el peso del material retenido sobre una hoja de análisis granulométrico preparado para tal propósito.

Retirar la arena del tamiz siguiente y añadirla al material procedente del tamiz anterior en la charola de balanza. Pesar y registrar el peso del material como anteriormente. Continuar el procedimiento con el resto de los tamices y la charola final, registrando los pesos acumulativos.

Por haberse comprobado que este método de pesos acumulativos proporciona gran exactitud el procedimiento se ha establecido como norma.

La tabla 7 muestra el análisis granulométrico de la arena del campo la Hocha.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENA

Tabla 7. Análisis granulométrico de arena del campo la Hocha

MALLA	DIÁMETRO PORO	CANTIDAD ARENA	PESO ACUMULAT	PESO ACUMULAT
N.	(INCH.)	(GR)	(gr)	(%)
20	0,0331	0,3022	0,30	0,1757034
30	0,0234	0,3872	0,69	0,400827
40	0,0165	2,0822	2,77	1,6114478
50	0,0117	4,4635	7,24	4,2065904
70	0,0083	24,3802	31,62	18,381587
100	0,0059	53,2945	84,91	49,36777
140	0,0041	40,4576	125,37	72,890396
170	0,0035	15,2342	140,60	81,747778
200	0,0029	16,3979	157,00	91,281751
325	0,0017	14,4360	171,44	99,675048
FONDO		0,5589	171,99	100

Fuente: HOCOL- NIMIR³⁷. Laboratorio de Química de Producción.

Para facilitar el cálculo obtuvimos de la anterior tabla el porcentaje en peso de la arena.

Tabla 8. Porcentaje en peso de arena del Campo la Hocha

Malla No	Cantidad de arena(gr.)	Porcentaje en peso
20	0,3022	0,1757
30	0,3872,	0,225
40	2,0822	1,21
50	4,4635	2,59
70	24,3802	14,17
100	53,2945	30,98
140	40,4576	23,52
170	15,2342	8,85
200	16,3979	9,53
325	14,436	9,39
Fondo	0,5589	0,32

Fuente: HOCOL- NIMIR³⁷. Laboratorio de Química de Producción.

Se tomaron 100 gr. de arena del laboratorio de la planta de aceros de la UIS para hacer la comparación granulométrica con la arena de la Hocha, del cuál obtuvimos los siguientes datos después del tamizaje:

Tabla 9. Análisis granulométrico de arena para 100 gr

Malla No	Porcentaje en peso
50	0,23
70	5,7
100	27,01
140	17,8
200	16,06
270	10,87
Fondo	22,04
TOTAL	99,71

Error: 0.29%.

Fuente: Autores del libro

El porcentaje de error no debe superar el 0.3%.

En la tabla 10 se puede observar la relación existente de porcentaje en peso de las arenas del Laboratorio de la UIS y el Campo la Hocha.

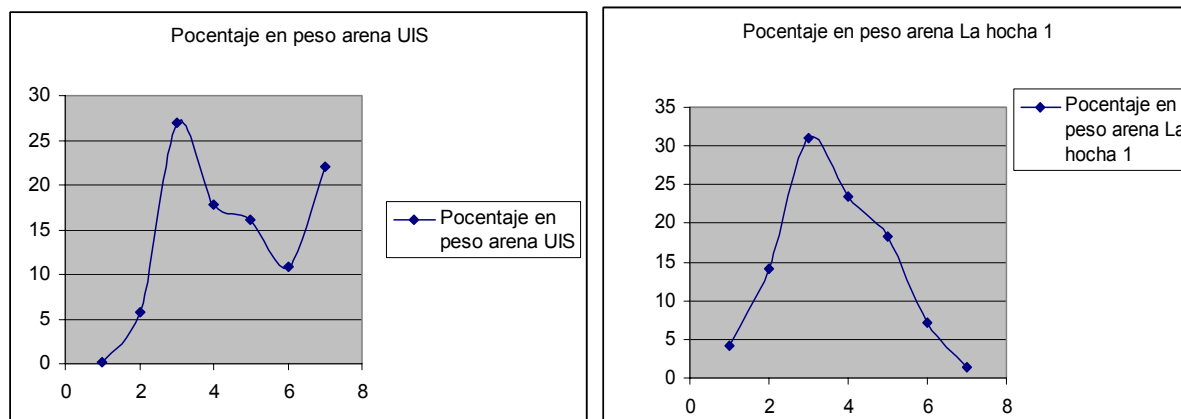
Para realizar la comparación se tomaron únicamente los tamices equivalentes.

Tabla 10. Comparación de arenas LABORATORIOS UIS – CAMPO LA HOCHA

Malla No	Porcentaje en peso arena UIS	Porcentaje en peso arena La Hocha 1
50	0,23	4,2
70	5,7	14,17
100	27,01	30,98
140	17,8	23,52
200	16,06	18,38
270	10,87	7,17
Fondo	22,04	1,47
TOTAL	99,71	99,89

Fuente: Autores del libro

Figura 24. Graficas comparativas de arenas



Fuente: Autores del libro

Vemos que difieren los resultados notoriamente, debido a esto se preparó la arena teniendo en cuenta las especificaciones de la arena de la Hocha 1 para la prueba de compactibilidad.

3.3 PRUEBA DE COMPACTIBILIDAD

La prueba de compactabilidad se realiza para asegurar la correcta adición de agua y alcanzar las propiedades de permeabilidad óptimas, y tener un estimativo de la presión de compactación que pueda ejercerse en la celda de acrílico.

3.3.1 Preparación de la muestra.

Luego de obtener la muestra representativa de la arena se realiza el siguiente procedimiento.

Figura 25. Pasos para preparar la muestra



Seleccionar una superficie dura y limpia



Aplastar la muestra hasta 12.7 mm y luego con la muestra aplastada formar un cono.



Apisonar la arena con un plato buscando una forma plana...



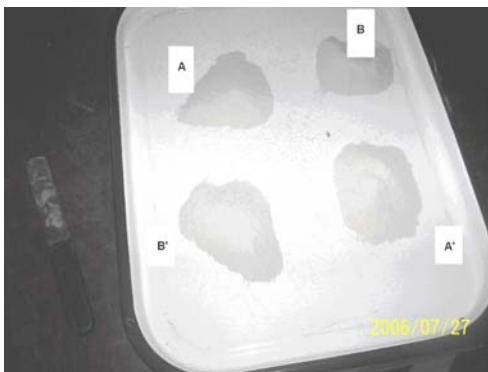
...de esta forma



Con una regleta limpia se divide en cuatro partes



Tratando de buscar porciones similares



Conservar los cuartos AA' y rechazar los BB'



Repetir los pasos anteriores con AA'



Limpiar perfectamente los tamices del Ro-Tap

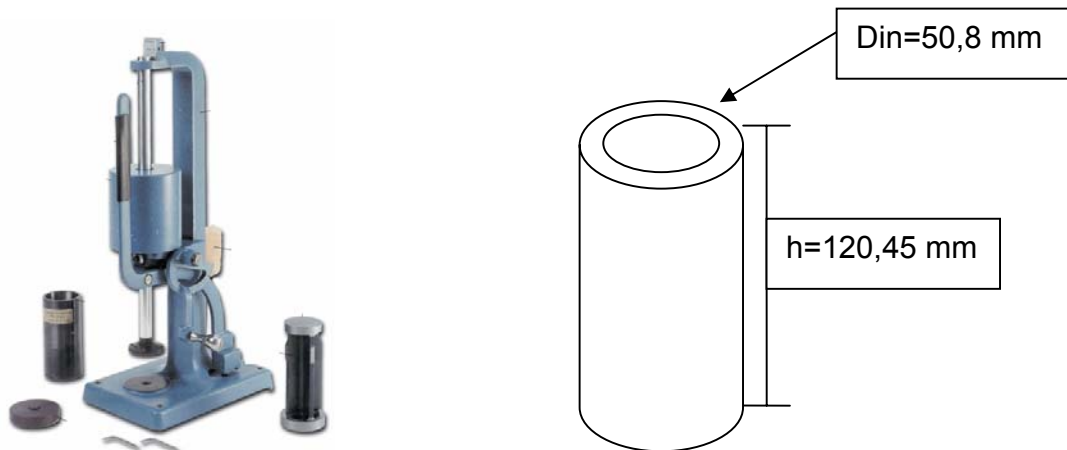


Ro-Tap

Fuente: Autores del libro

En el ensayo de compactación se utilizó una compactadota de arena que posee probeta de acero endurecido (65 a 70 Rockwell escala C) como se ve en la figura 26.

Figura 26. Compactadora de Arena y Probeta de ensayo.



Fuente: Autores del libro

Cabeza apisonadora Dext= 50,65 mm.

Peso apisonador= 6,35 Kg.

Peso total parte movable = 7,938 Kg.

$$\text{Ec. 3.1} \quad F = 7.938 \text{Kg} * 9.81 = 77,87 \text{N}$$

Fuerza ejercida por la cabeza apisonadora sobre la probeta

$$\text{Ec} \quad 3.2 \quad A = \frac{\Pi}{4} * (50,65 \text{mm})^2 \approx 2015 \text{mm}^2 \quad . \text{Área de la probeta}$$

$$\text{Ec. 3.3} \quad P = \frac{77,87 \text{N}}{2015 \text{mm}^2} = 38,84 \text{KPa} \approx 5,6 \text{psi} \quad \text{Presión en la probeta.}$$

Esta prueba fué realizada para analizar la presión de compactación en la celda, los cálculos de la fuerza para compactar la arena se analizan a continuación:

$$P = F / A$$

P = Presión ejercida en la celda.

F = Fuerza ejercida por el cilindro neumático (200 Kg. = 440 Lb).

A = Area interna de La celda (387,5 pulg²).

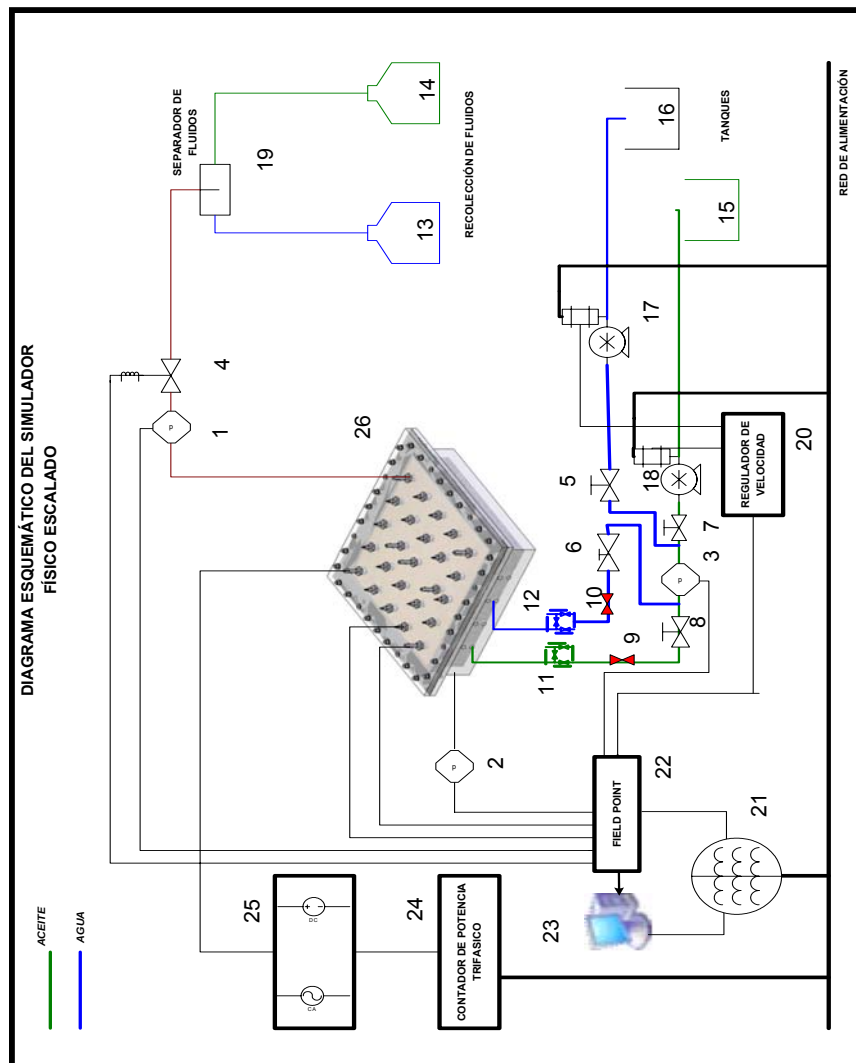
$$P = 440 \text{ Lb} / 387,5 \text{ Pulg}^2 = 1,13 \text{ Psi}$$

Lo que indica que es una presión adecuada ya que la celda soportará 3,7 psi incluyendo los fluídos y la arena de formación.

4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO FÍSICO ESCALADO

El modelo físico escalado fue diseñado conforme a las necesidades del centro de investigación del gas y del petróleo CIGP, en la figura 27 se muestra el diagrama esquemático del simulador físico escalado, y su respectiva descripción.

Figura 27. Diagrama del simulador físico escalado



Fuente: Autores del libro

Tabla 11. Descripción del diagrama esquemático

No	DESCRIPCION
1,2,3	<i>SENSOR DE PRESIÓN</i>
4	<i>VALVULA SOLENOIDE</i>
5,6	<i>VALULA CONTROL DE FLUJO DE AGUA</i>
7,8	<i>VALULA CONTROL DE FLUJO DE ACEITE</i>
9,10,	<i>VALULA ANTIRRETORNO</i>
11	<i>MANIFOLD DE ACEITE</i>
12	<i>MANIFOLD DE AGUA</i>
13	<i>RECIPIENTE DE RECOLECCION DE AGUA</i>
14	<i>RECIPIENTE DE RECOLECCION DE ACEITE</i>
15	<i>TANQUE DE ACEITE</i>
16	<i>TANQUE DE AGUA</i>
17	<i>BOMBA DE AGUA</i>
18	<i>BOMBA DE ACEITE</i>
19	<i>SEPARADOR DE FLUIDOS</i>
20	<i>VARIADOR DE VELOCIDAD</i>
21	<i>REGULADOR</i>
22	<i>SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS</i>
23	<i>PC</i>
24	<i>CONTADOR DE POTENCIA</i>
25	<i>FUENTE REGULABLE DE ALIMENTACION AC/DC</i>
26	<i>SIMULADOR</i>

Fuente: Autores del libro

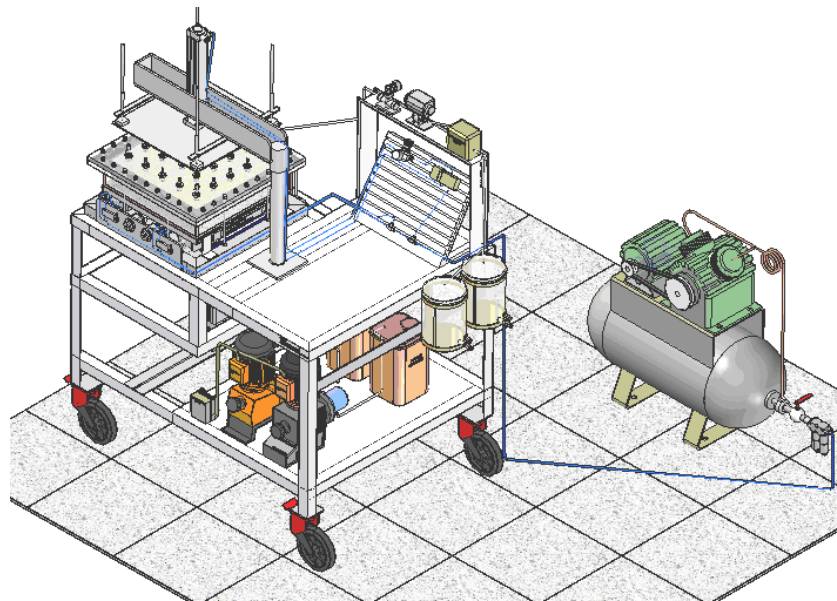
4.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO POR SUBSISTEMAS

El modelo físico escalado esta diseñado en polimetil-metacrilato (acrílico) con dimensiones internas de 50 cm. X 50 cm. X 13 cm. y un espesor de pared de 2cm.

Los pozos de medición, los productores/inyectores, están diseñados en teflón y los tornillos de fijación de la celda en duralón para evitar posibles pérdidas de corriente y aumentar los factores de seguridad del operario.

El equipo está constituido por varios subsistemas como son: estructura soporte, sistema de buzamiento, sistema de vibración, sistema de compactación, sistema de inyección de fluidos y sistema de recolección de fluidos.

Figura 28. Simulador físico escalado



Fuente: Autores del libro

El sistema en general consta de dos bombas para la inyección de fluidos, una para la salmuera y otra de aceite con sus respectivos tanques de almacenamiento,

dos manifolds para distribución de líquidos a la entrada del simulador, un compresor y su respectivo sistema de mantenimiento que suministran 10 cfm (pies cúbicos por minuto), un completo juego de válvulas electroneumáticas, dos cilindros neumáticos uno de compactación y otro de buzamiento con carreras de 300 mm y 350 mm respectivamente, un potenciómetro para control del ángulo de inclinación, válvulas antirretorno, válvulas reguladoras de caudal, un sistema de recolección de fluidos con sensores de presión una electroválvula, un separador de fluidos y recipientes de recolección, entre otros.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

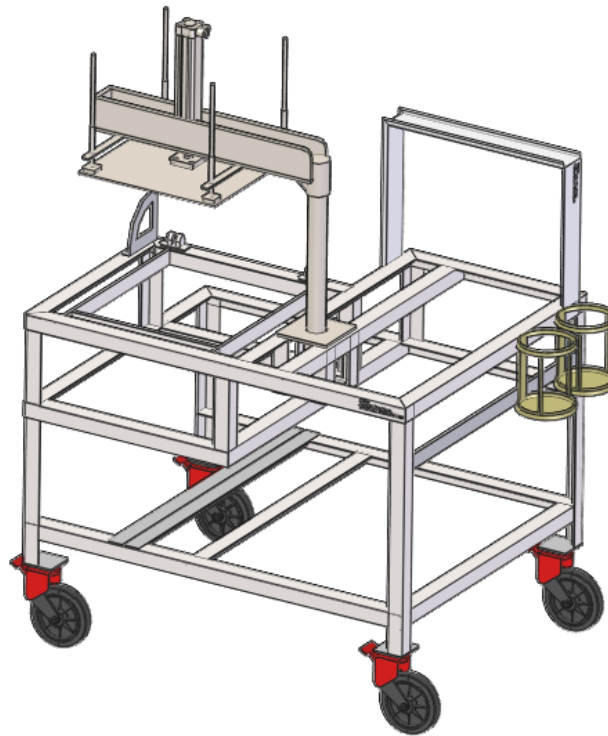
La estructura esta diseñada en su totalidad en ángulos y láminas de acero cortadas biseladas y soldadas, su diseño esta basado en criterios de rigidez y armonía de conjunto. Su base se diseñó en perfiles y laminas de acero estructural ASTM- A36 con dimensiones de 140 cm. de largo X 110 cm. de ancho y una altura de 95 cm.

El espacio en la estructura esta dividido de tal forma que alberga todos los componentes del sistema y queda un área libre aproximada de 45cm x 70cm.

La bandera o estructura de compactación se une al bastidor por medio de la base soldada a los ángulos de la mesa estructura, esta base contiene rodamientos que permiten el giro del sistema de buzamiento para una mejor disposición de espacio y flexibilidad en la operación del simulador.

La estructura esta sostenida por cuatro ruedas que permiten un fácil desplazamiento, estas son escualizables y poseen un mecanismo de freno que hace posible la inmovilidad en todas las direcciones.

Figura 29. Estructura del modelo físico escalado



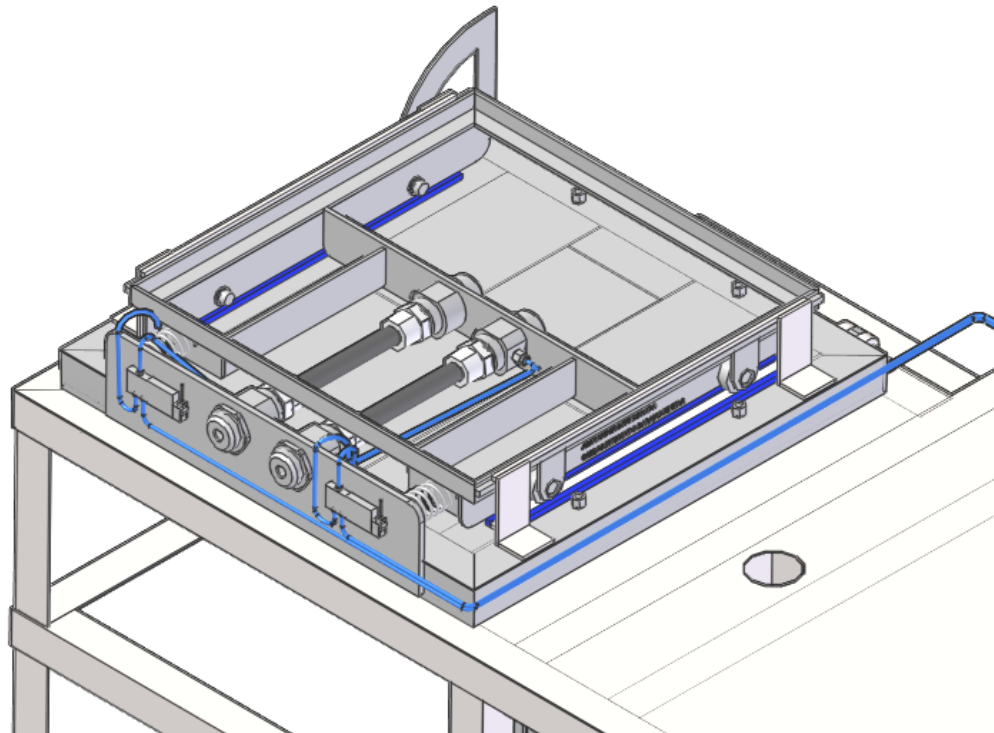
Fuente: Autores del libro

4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VIBRACIÓN

El sistema de vibración consta de dos músculos neumáticos, cuatro rodamientos seleccionados SKF dos resortes y una armazón en acero estructural en ángulo con designación ASTM A-36 y lamina resistente a la abrasión ASTM A-514 Grado A.

Los músculos están sujetos a la estructura de buzamiento y al carro de vibración que está guiado por un sistema de corredera que restringe el movimiento al plano horizontal y se desplaza sobre guías de material polimérico.

Figura 30. Sistema de vibración



Fuente: Autores del libro

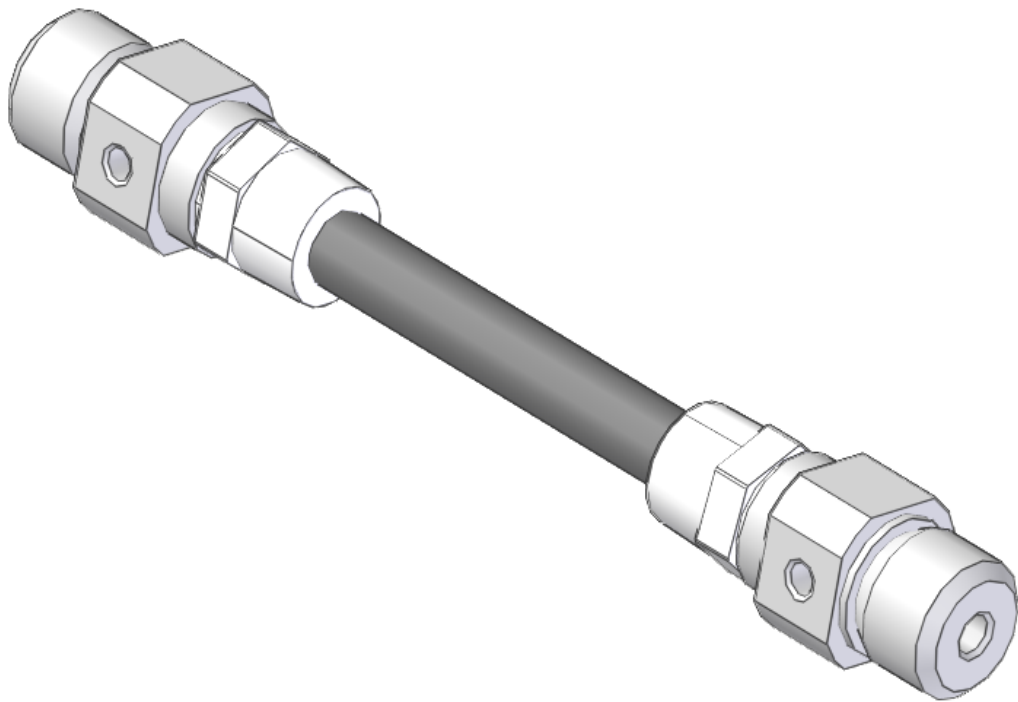
La vibración se acciona por medio de dos electroválvulas que alimentan los músculos neumáticos y estos provocan el movimiento lineal al carro de vibración.

4.3.1 Funcionamiento del Músculo Neumático.

El músculo neumático es un actuador de tracción que imita la musculatura humana. Está compuesto por un tubo flexible contráctil y los respectivos empalmes. El tubo flexible contráctil está formado por una capa interior de goma estanca y resistente a la presión y de una capa exterior de fibras altamente

resistentes. Las fibras están dispuestas en forma de rombos, formando una estructura reticulada tridimensional.

Figura 31. Músculo neumático



Fuente: Autores del libro

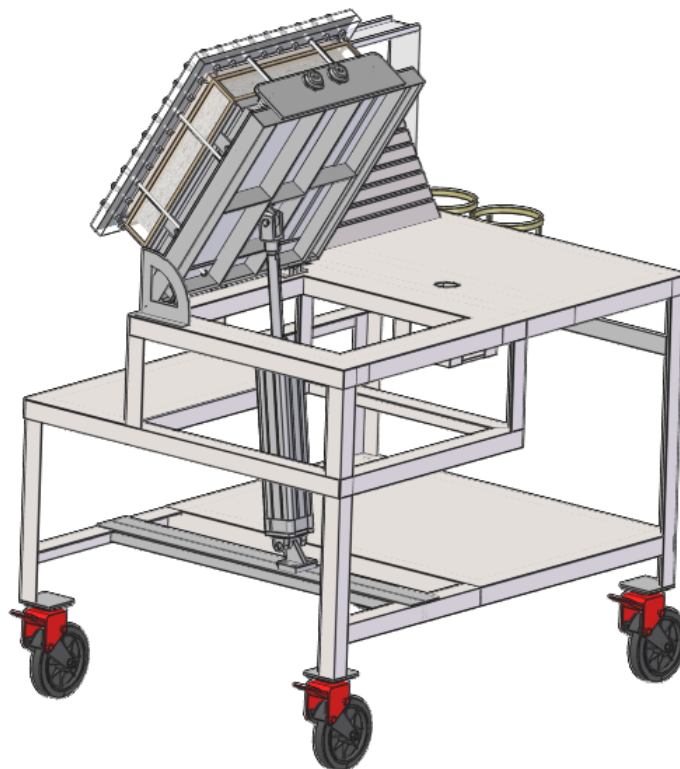
Aplicando una presión interior a la periferia se dilata, con lo que se obtiene una fuerza de tracción y un movimiento de contracción a lo largo del músculo neumático. La fuerza de tracción aprovechable llega a su máximo al principio del movimiento de contracción y disminuye al aumentar la carrera. Con el músculo neumático es posible aprovechar una carrera útil hasta un 25% de la longitud nominal del músculo.

4.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BUZAMIENTO

Denominamos sistema de buzamiento al grupo de elementos que hacen posible el movimiento angular para lograr la inclinación de hasta 90° del simulador; este consta de un cilindro neumático y una estructura de buzamiento, para este sistema se seleccionó el cilindro neumático con una carrera de 350 mm, y se diseñó la estructura de buzamiento que sostiene al sistema de vibración y al simulador físico escalado.

Para el funcionamiento deseado del cilindro neumático se utiliza un potenciómetro (sensor de posición), válvulas antirretorno y electroválvulas; dichos elementos permiten lograr la posición deseada e inmovilidad del sistema.

Figura 32. Sistema de buzamiento

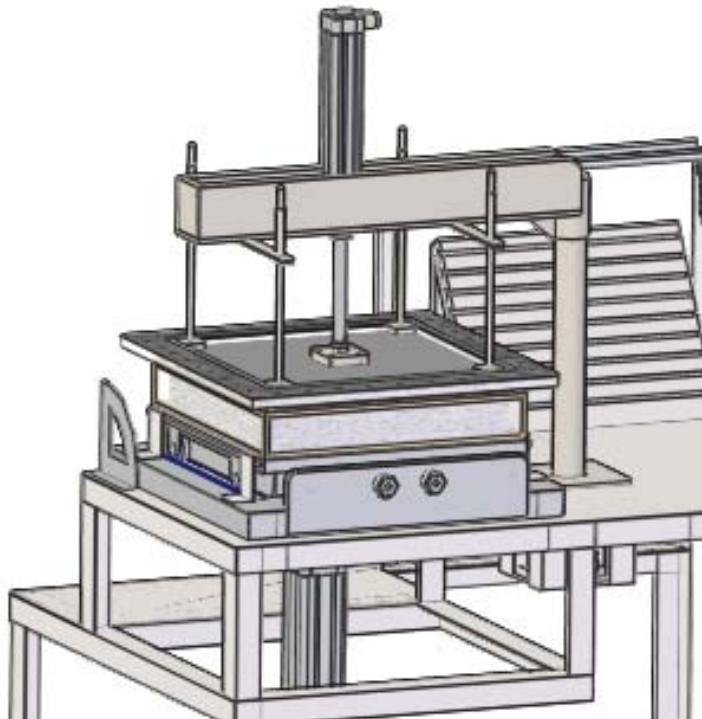


Fuente: Autores del libro

4.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMPACTACIÓN

Este sistema consta de una barra perforada, un perfil en U y una placa acoplada al cilindro neumático que compacta la arena. Al perfil se le acondicionaron dos portaguías para asegurar un movimiento completamente lineal de la placa compactadora.

Figura 33. Sistema de compactación

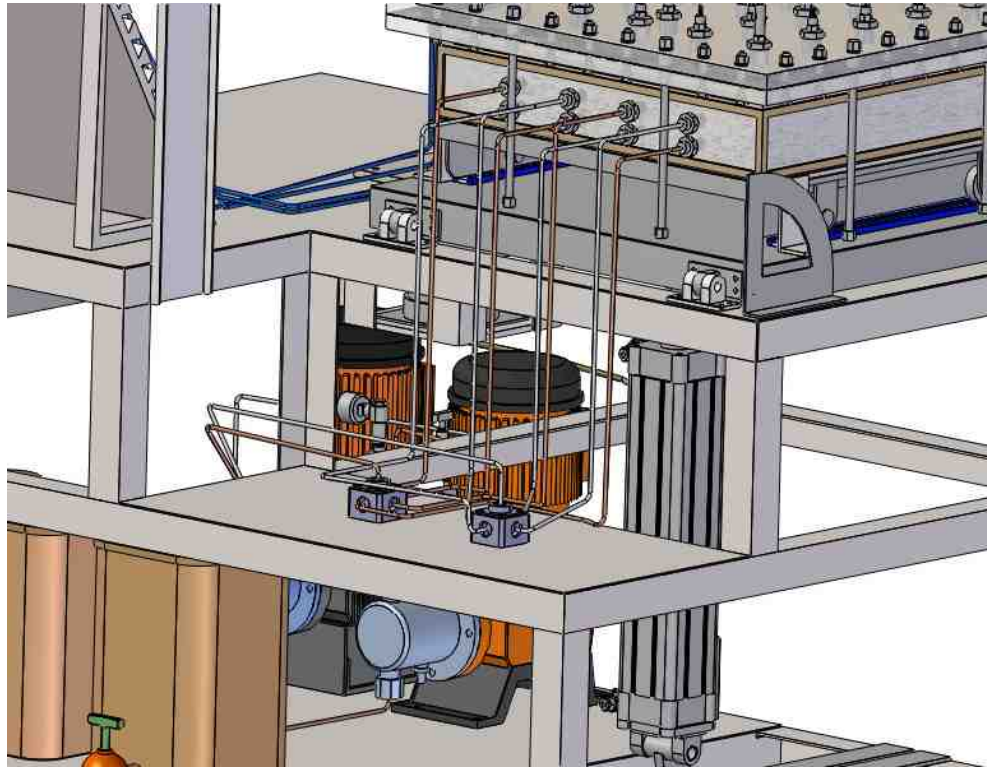


Fuente: Autores del libro

El sistema de compactación contiene un conjunto de rodamientos y una base para el sostenimiento de la bandera y al mismo tiempo permite el giro de esta.

4.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN Y PRESURIZACIÓN

Figura 34. Sistema de inyección de fluidos



Fuente: Autores del libro

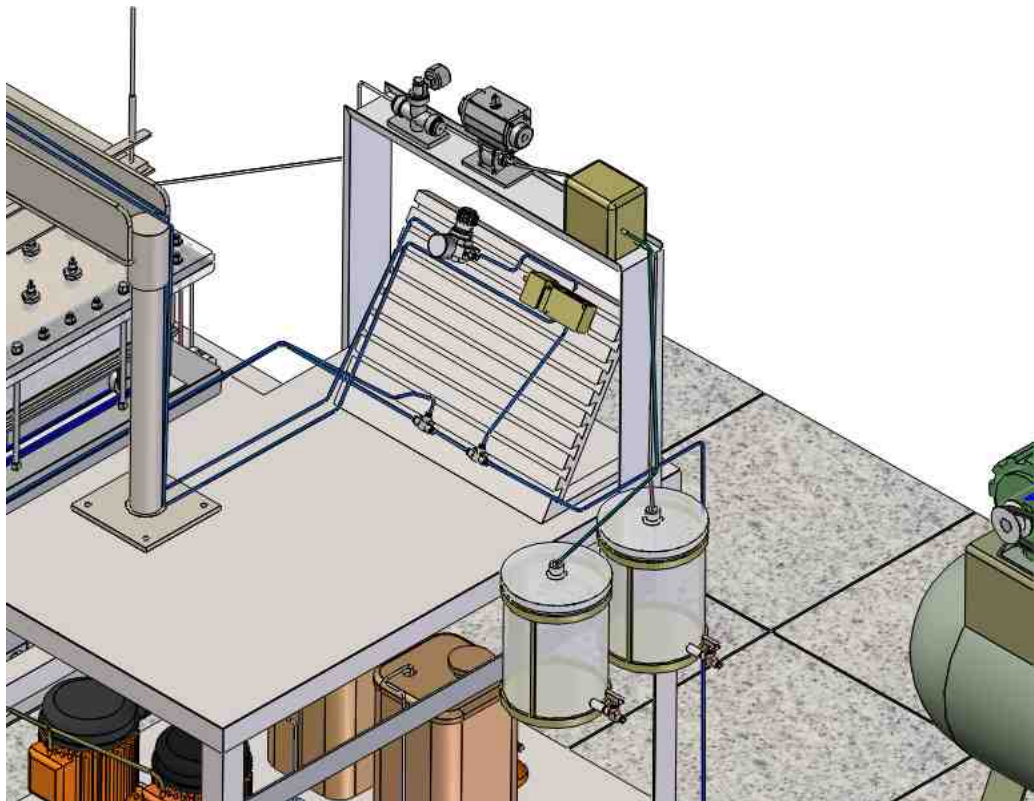
Para la inyección de fluidos se requiere utilizar dos bombas de desplazamiento positivo marca *Prominent*, válvulas antirretorno, un sensor para el control de presión de inyección, dos manifolds para la distribución de los fluidos que entran al simulador y un variador de velocidad para el control de las bombas.

Para la inyección de fluidos se diseñó un by-pass debido a que se seleccionó un solo sensor de presión para la medición de este.

El sistema tiene como función inyectar los fluidos y mantener la presión en el modelo en el momento de producción de estos.

4.7 SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE FLUIDOS

Figura 35. Recolección de fluidos



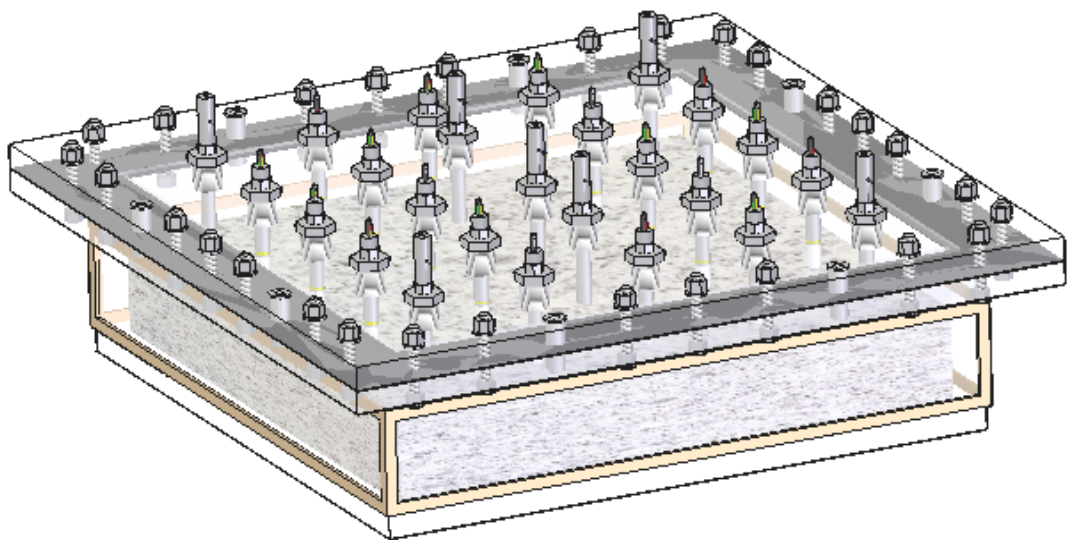
Fuente: Autores del libro

En la recolección de fluidos se tiene, dos recipientes para el depósito de agua y crudo, un separador de fluidos, una válvula solenoide, un sensor de presión para el control del flujo a la salida del simulador.

4.8 DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR FÍSICO ESCALADO

El modelo es un recipiente a baja presión, en su interior alberga arena y arcilla que simulan la roca de formación, la tapa tiene perforaciones roscadas y tapones de recambio, a estos se roscan los 25 pozos tanto los sensores de tensión y temperatura como los productores / inyectores, la presión es mantenida mediante un sello de neopreno (ver Anexo K) y ajustado por tornillos ubicados en las aletas del recipiente de manera que hacen posible un cierre hermético.

Figura 36. Celda



Fuente: Autores del libro

Para sostener el simulador a la estructura de buzamiento se le realizaron unas perforaciones a las aletas para ajustarla con tornillos de acero, y se le adaptaron acoples de teflón para mantenerlo aislado. Para aumentar el margen de seguridad se le instalará un marco de acero.

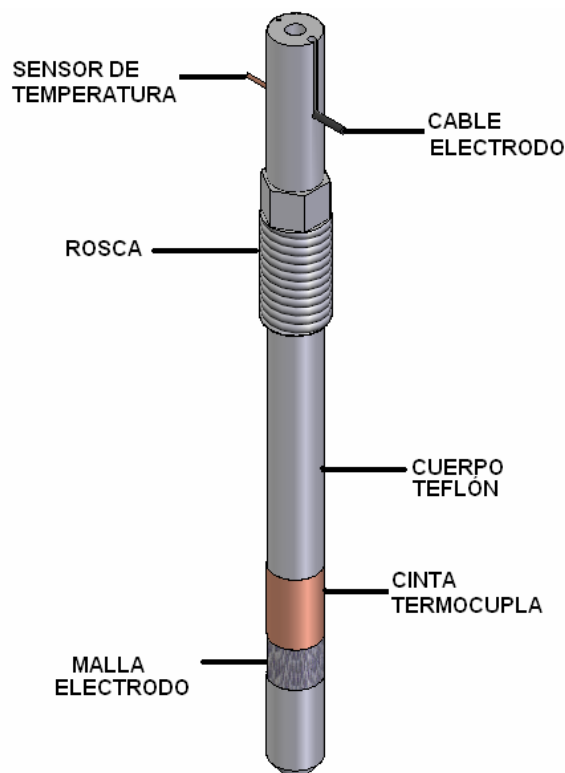
4.9 DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS

Los pozos son los elementos por los cuales se produce el fluido y se toma la respectiva información de tensión y temperatura.

4.9.1 Pozo Productor/Inyector.

Los pozos constan de una zona productora de fluidos y una zona de medición, la zona productora contiene una malla # 200 para evitar la contaminación con arena de la formación en los diferentes ductos de la tubería.

Figura 37. Pozo productor / Inyector



Fuente: Autores del libro

La zona de medición cuenta con una cinta termocupla instalada en la malla electrodo para la medición de temperatura en ese punto.

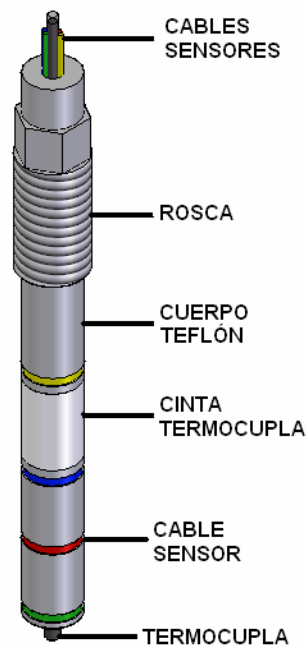
El pozo tiene un diámetro interno de $\frac{1}{4}$ " para la producción del crudo y en la parte superior tiene un conector acoplado a la tubería para de recolección del fluido.

Estos pozos multipropósito pueden actuar como pozos de inyección de corriente o como pozos de producción.

4.9.2 Pozo de Medición.

El pozo esta diseñado para realizar la medición de voltaje en cuatro puntos de la formación y medición de temperatura en dos puntos, por medio de termocuplas.

Figura 38. Pozo de medición



Fuente: Autores del libro

Para instalar el pozo en el simulador se rosca a un tapón de recambio (rosca 18 UNF) que previamente ha sido puesto en la tapa de éste (Anexo J).

La información de los sensores es llevada por medio de cables que viajan por el interior del pozo a un sistema de adquisición de datos donde son procesados para su respectivo control.

4.10 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

El sistema eléctrico y de control esta compuesto por, un computador de escritorio con un software para el monitoreo del proceso, sistema de adquisición de datos con comunicación puerto serial con PC, que contenga 50 entradas; Señal de voltaje de 0-400 V, 50 entradas; Señal de voltaje de termocuplas tipo K, 3 entradas; Señal de 4-20 mA para sensores de presión, 5 entradas; Señal de 4-20 mA para accionar las electroválvulas neumáticas; 1 salida; Energización de válvula solenoide, 1 salida; Control de variador moto-bomba, una válvula solenoide de dos vías conexiones a puerto de 1/4" señal de entrada de 24V normalmente cerrada, tres sensores de presión con un rango de 0 a 20 PSI señal de salida de 4 a 20 mA conexiones a 1/4" y con display LCD y una fuente de alimentación con una conexión de entrada de 120 V AC y salida de 24 V DC (Ver Anexos D, E).

El sistema eléctrico de potencia esta dividido en dos partes; una es la relacionada con la potencia que se inyecta en fondo de pozo y la otra es la relacionada con los equipos y sistemas de superficie.

La potencia inyectada en fondo de pozo se hace por medio de un electrodo, este es un elemento esencial porque dependiendo de su ubicación dimensionamiento y construcción se obtendrá una mayor o menor penetración de la corriente en la zona de interés.

El electrodo es una sección del pozo hecha en cobre que se enrosca al teflón y está soldado a un cable calibre 18 AWG de cobre (1,024 mm de diámetro) que lleva la corriente desde la cabeza del pozo hasta el electrodo.

El sistema potencia en superficie tiene la función de entregar la potencia necesaria a inyectar en el pozo. El sistema de potencia de superficie estará compuesto por fuentes de tensión, conductores eléctricos, voltímetro, amperímetro y contador.

5. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LAS PARTES DEL COMPONENTE MECÁNICO DEL SIMULADOR FÍSICO ESCALADO

En la figura 39 se ve el diagrama de flujo que se siguió para el desarrollo del diseño del modelo físico escalado, este proceso se dividió en 10 etapas secuenciales.

5.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La estructura soporta tres partes fundamentales las cuales son; sistema de compactación, buzamiento, y vibración.

La estructura fue diseñada en su totalidad en acero estructural con la siguiente designación:

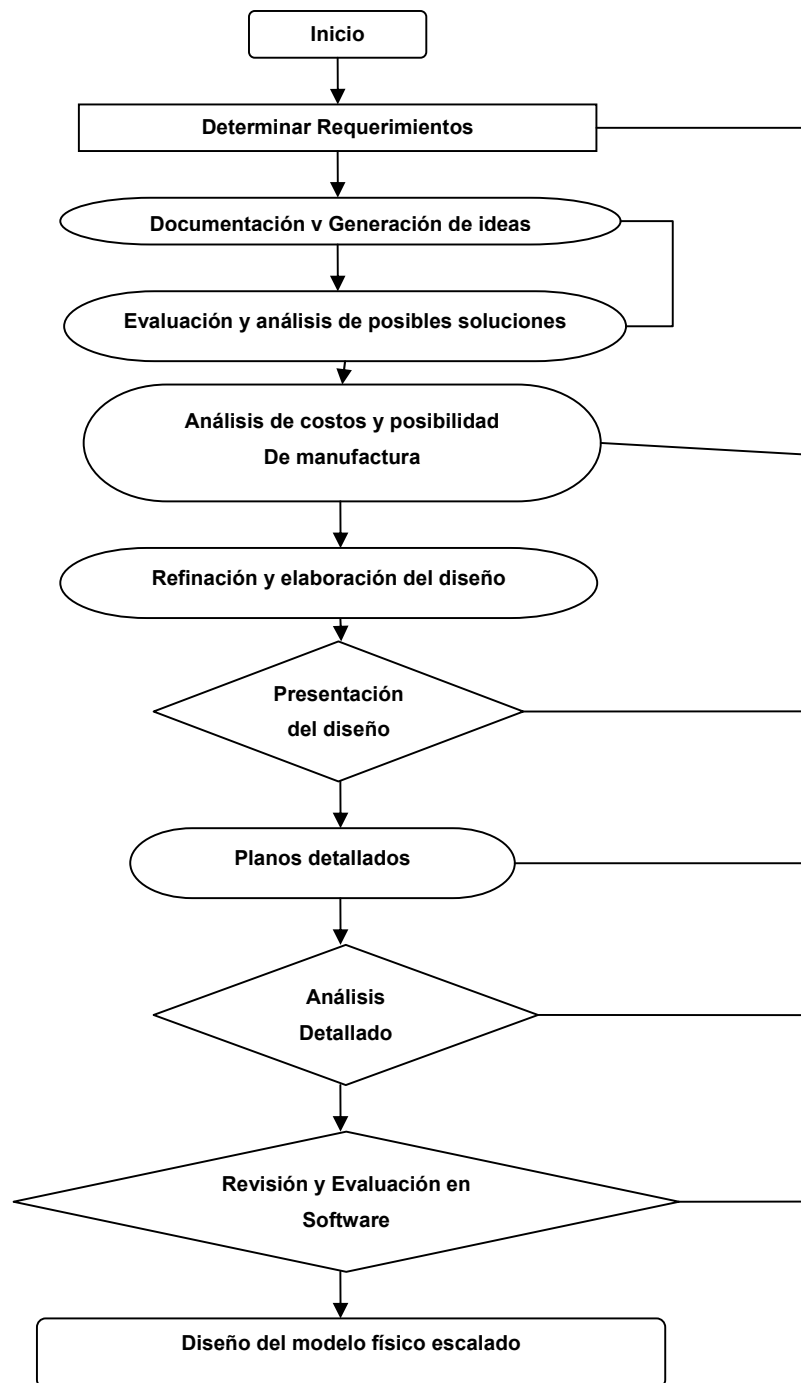
Angulos en acero ASTM A-36 para construcciones soldadas remachadas o atornilladas, lamina en acero resistente a la abrasión ASTM A-514 (Anexo I)

La soldadura a utilizar es TIG con aporte de acero al carbón TWG 100% argón, electrodo 7018, la cuál se aplica en casi la totalidad de la estructura.

Las dimensiones de la estructura se tomaron con base en las medidas de algunas estructuras de laboratorio, considerando una altura de 95 cm. como ergonómicamente buena y funcional para el operario, y dimensiones de la mesa (110 cm. x 140 cm.) lo suficientemente amplia para permitir un trabajo cómodo.

Para el análisis de resistencia de la estructura se utilizó un soporte CAD / CAE ANSYS-WORKBENCH. Se trabajó con varias dimensiones para lograr la óptima.

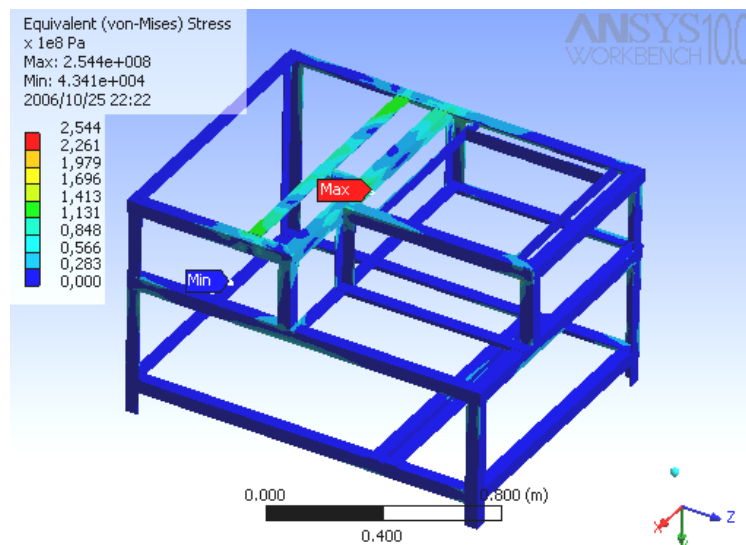
Figura 39. Diagrama de flujo para el proceso de diseño del modelo físico escalado



Fuente: Autores del libro

La figura 40 muestra la distribución de esfuerzos Von-mises.

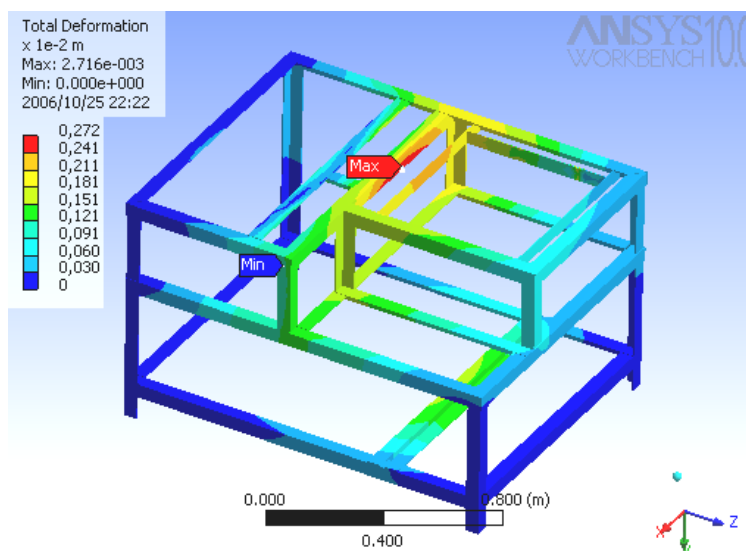
Figura 40. Distribución de esfuerzos en la estructura



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Se aplicaron las cargas equivalentes a los pesos que soporta la estructura, además de que se sobrecargó el sistema al doble, y se observa una deformación máxima de 2mm en los puntos en rojo.

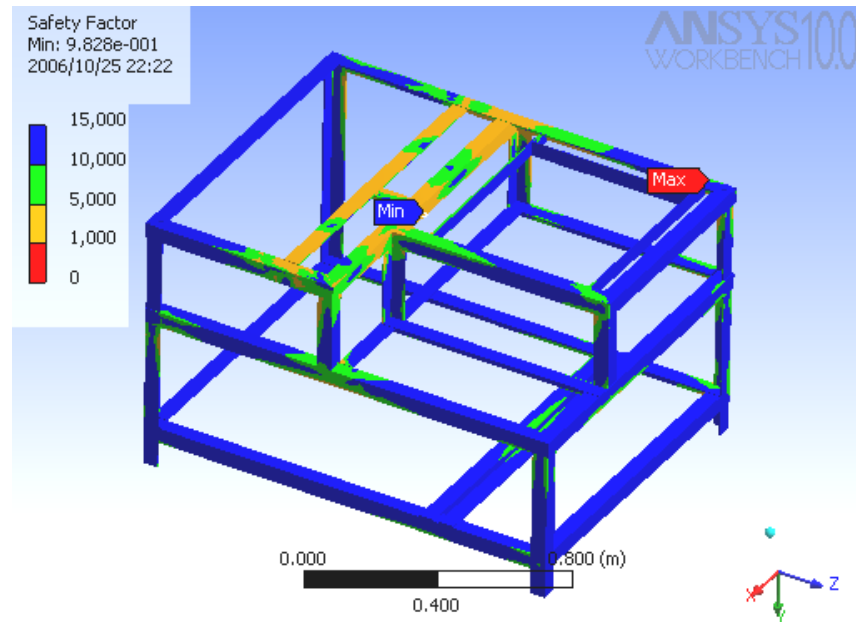
Figura 41. Deformación total en la estructura



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Bajo las anteriores condiciones de carga el factor de seguridad se encuentra entre 1 y 5, podemos tomar un valor cercano a 1.5, muy bueno si tenemos en cuenta la sobrecarga en el sistema.

Figura 42. Factor de seguridad estructural



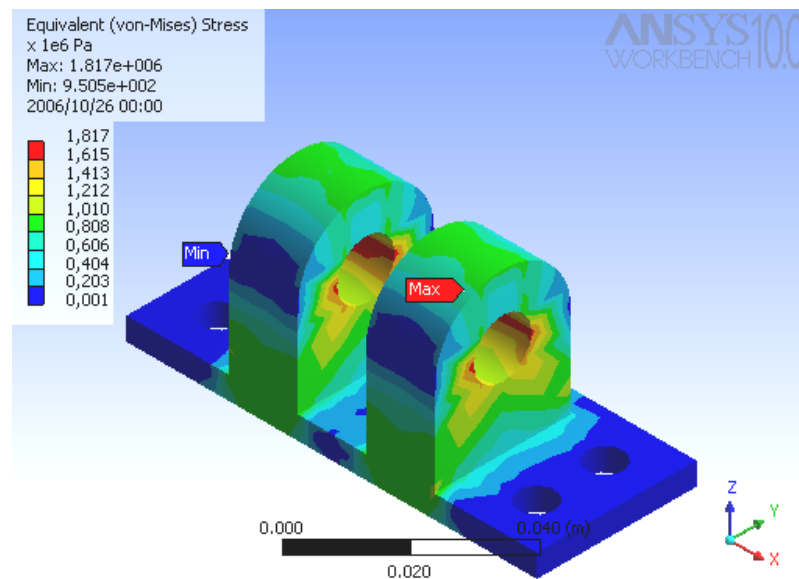
Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

5.1.1 Cojinetes.

En los cojinetes de buzamiento se analizaron el esfuerzo cortante máximo, la deformación máxima y el factor de seguridad, en el momento más crítico de posicionamiento del simulador, teniendo en cuenta el máximo ángulo a 90° .

A continuación se observan las figuras 43 y 44 correspondientes a la distribución de esfuerzos de von-mises.

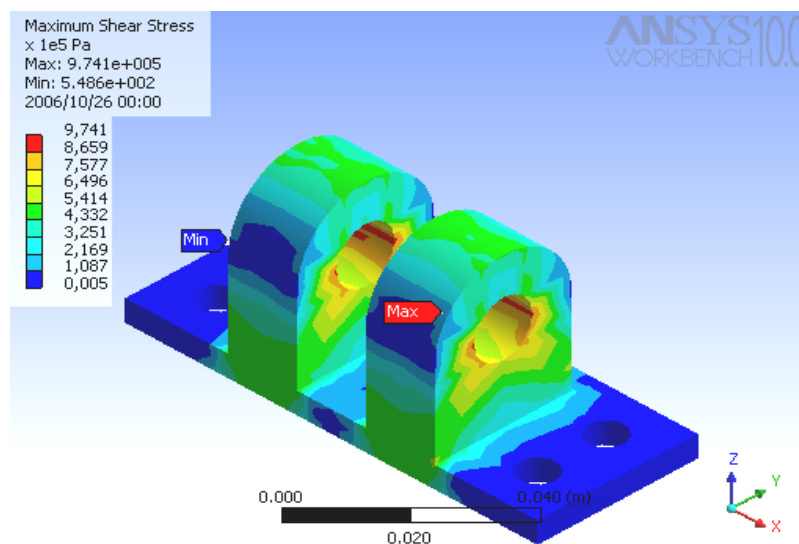
Figura 43. Distribución de esfuerzos en el cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

El máximo esfuerzo cortante resultó a 975 Kpa. En los cojinetes de las figuras 43 y 44 se ve que soportan muy bien los esfuerzos ejercidos por las cargas a que son sometidos.

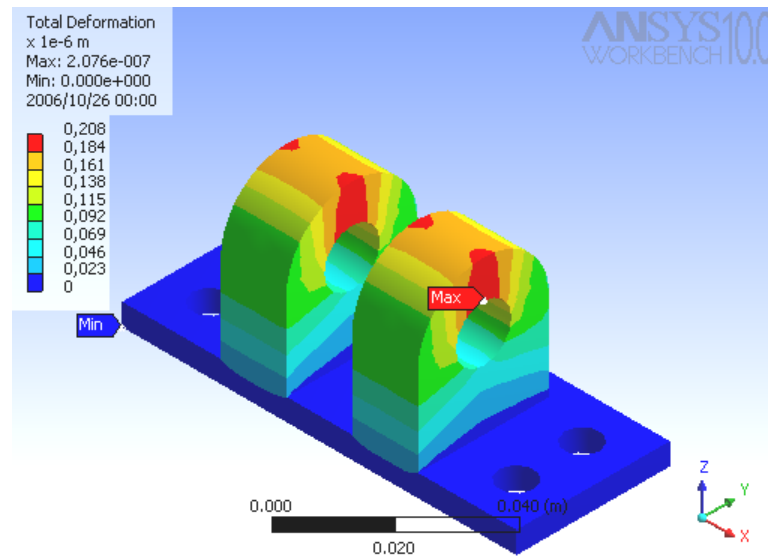
Figura 44. Esfuerzo cortante en cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Para una deformación máxima de 2×10^{-7} m en su punto más crítico.

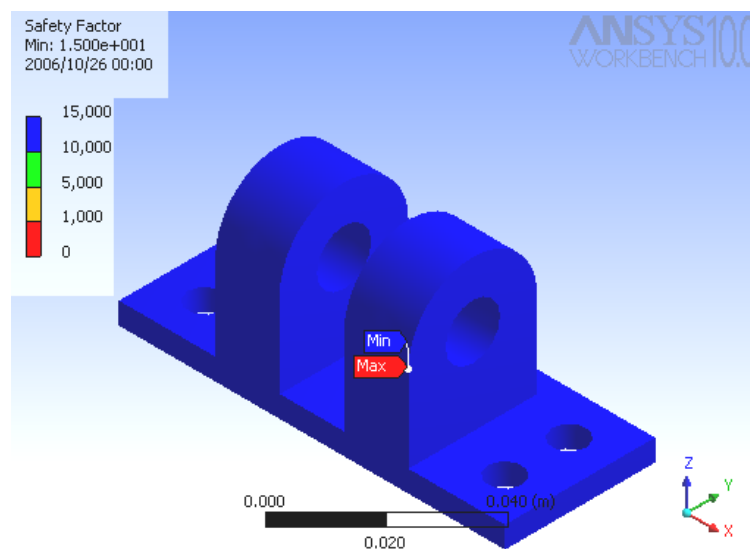
Figura 45. Deformación total en cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

El factor de seguridad resulta bastante alto, $N = 15$.

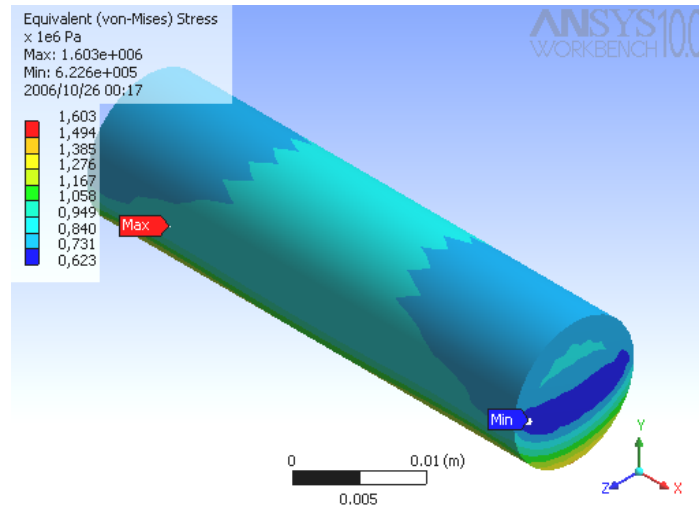
Figura 46. Factor de seguridad en cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

De igual forma se analizaron los pasadores de los cojinetes de buzamiento, se observan los esfuerzos de von mises, máximo de 1600 KPa y mínimo de 623 KPa.

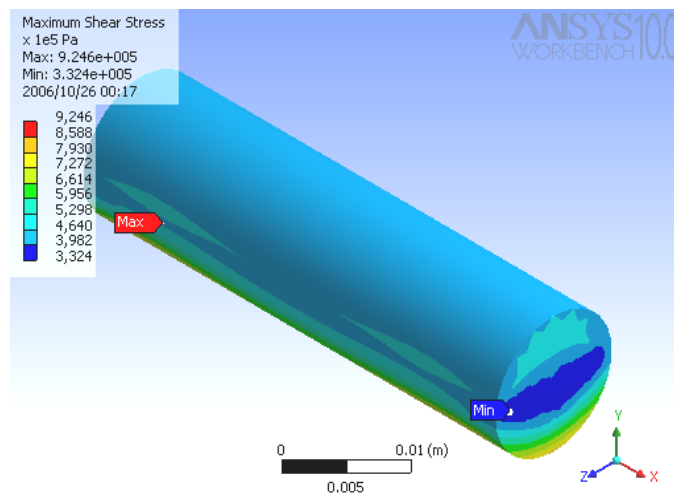
Figura 47. Distribución de esfuerzos en el eje de cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Los pasadores se analizaron a cortante doble, y se encuentran los máximos de esfuerzo cortante de 925 KPa, como se observa en la figura 48.

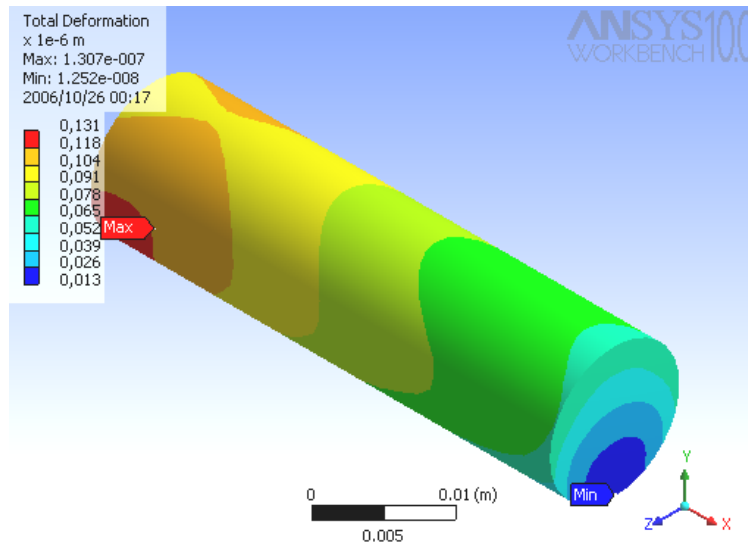
Figura 48. Máximo esfuerzo cortante en el eje de cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

La deformación máxima tiene una flecha de 13×10^{-6} m. Lo cual indica que es prácticamente nula.

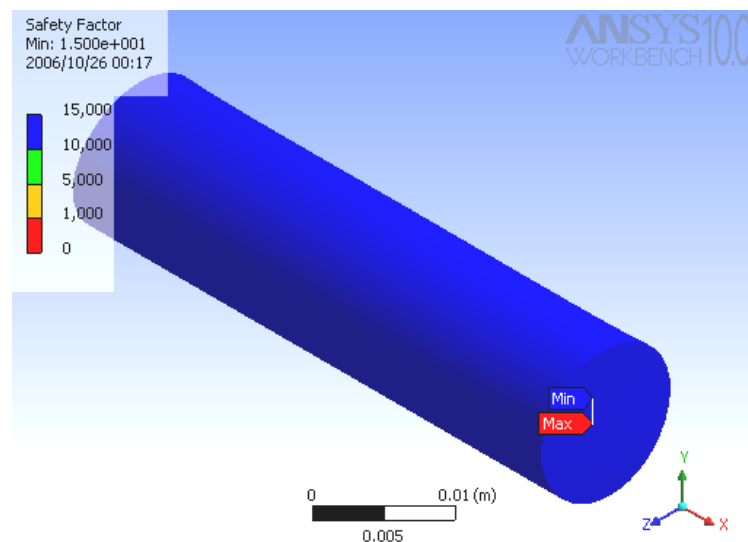
Figura 49. Deformación total en el eje de cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Y el factor de seguridad está entre 10 y 15, resultados bastante confiables para la operación que se llevará a cabo.

Figura 50. Factor de seguridad en el eje de cojinete



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE VIBRACIÓN

El sistema de vibración consta de una estructura diseñada en ángulos y platinas de acero ASTM A-36 para construcciones soldadas remachadas o atornilladas, y lámina en acero resistente a la abrasión ASTM A-514 (Anexo I).

Para lograr la vibración de esta estructura se seleccionaron dos músculos neumáticos FESTO (Ver Anexo F).

Con las densidades de los diferentes materiales utilizados en el recipiente y el sistema de vibración hallamos las masas para la selección de los músculos neumáticos.

Para seleccionar los músculos se requiere conocer la carga que se va a mover, y para ello se calcularon los pesos en, barra de herramientas; propiedades físicas solid edge.

Introduciendo los valores de las densidades como: arena, arcilla, acrílico, acero, etc., se obtuvo:

Material	Peso (Kg)
Recipiente en acrílico	16,2 kg.
Tapa en acrílico	9,466 kg.
Arcilla	37,5 kg.
Arena	53 kg.
Carro de vibración	16 kg.
Músculos neumáticos	0,92 kg.
TOTAL	132,258 kg.

Los músculos seleccionados fueron:

Músculos neumáticos MAS-20-156N-AA-MO-K-BR.

Estos músculos se analizaron en PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

5.2.1 Presión de Funcionamiento de los Músculos Neumáticos.

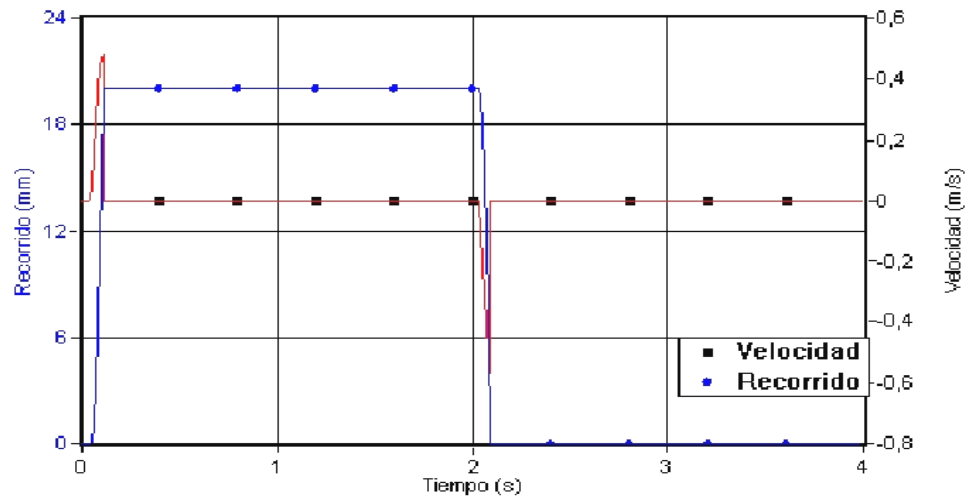
Ingreso - parámetros del sistema:

Longitud de carrera requerida	15 mm
Ángulo de instalación	°0
Músculos dispuestos	1
Temperatura ambiente	+ 60 °C
Presión de funcionamiento	6 bares.
Masa en movimiento	82 Kg.

Resultados calculados:

Tiempo total de posicionamiento	0,11 s
Velocidad promedio Movimiento	0,18m/s
Máx. Velocidad Movimiento	0,48 m/s
Tiempo total de posicionamiento	0,1 s
Velocidad promedio Movimiento	-0,21 m/s (Retroceso)
Máx. Velocidad Movimiento	-0,57 m/s (Retroceso)

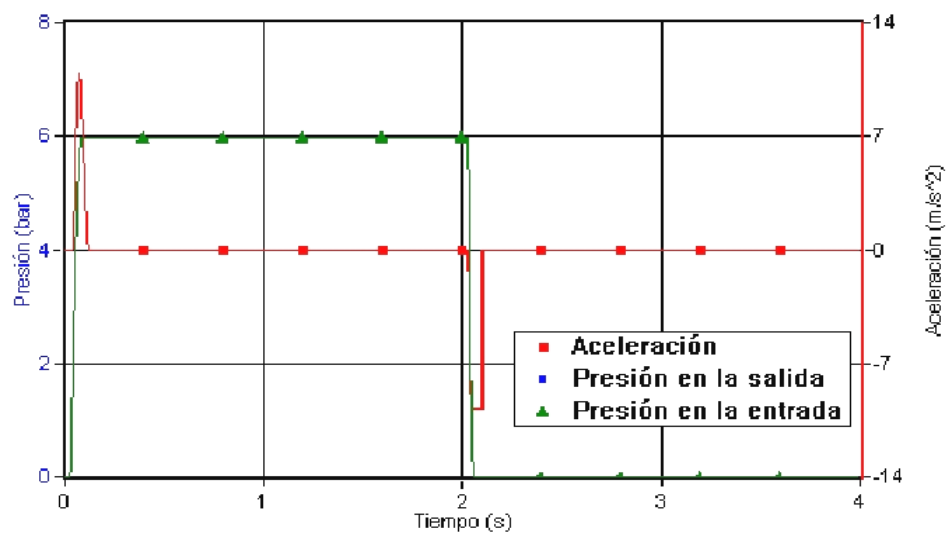
Figura 51. Velocidad y recorrido del músculo en una oscilación



Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

La figura 53 muestra la relación que existe entre la velocidad y el recorrido del musculo

Figura 52. Presión de funcionamiento de los músculos neumáticos

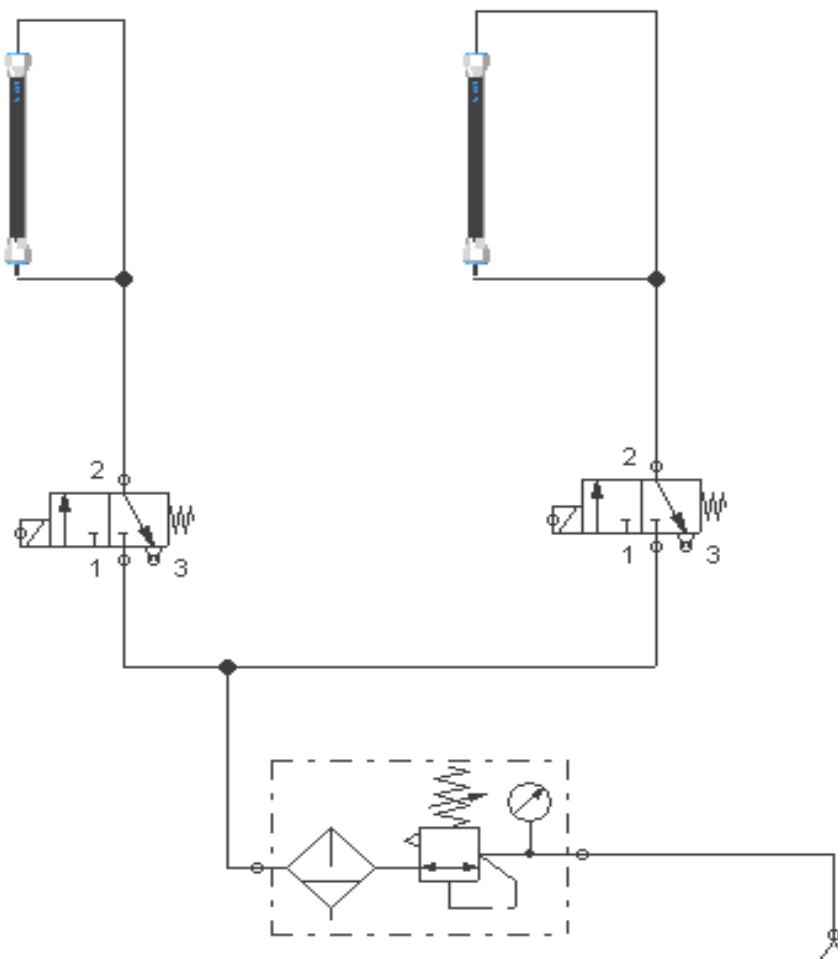


Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

La figura 53 muestra el circuito del sistema de vibración. Este sistema consta de; dos músculos neumáticos, dos válvulas direccionales 3/2 (3 vías 2 posiciones) la unidad de mantenimiento y la fuente de aire comprimido.

El circuito neumático se diseño y comprobó en FluidSIM-P 3.

Figura 53. Circuito neumático de vibración

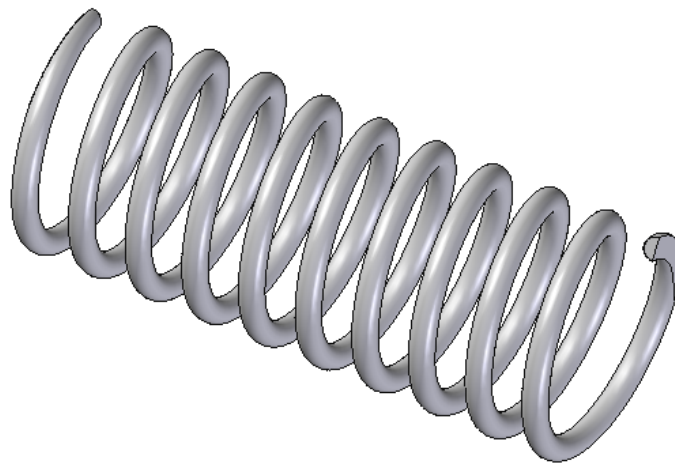


Fuente: Autores del libro

5.2.2 Selección de los Resortes del Sistema de Vibración.

Se utilizarán dos resortes que ayudarán a la restitución del sistema de vibración.

Figura 54. Resorte del sistema de vibración



Fuente: Autores del libro

C = índice de pronunciamiento de la curvatura

d = diámetro del alambre

λ = ángulo de hélice

N_t = # de espiras totales

N_a = # de espiras activas

N_r = # de espiras de remate

D = diámetro medio

S =Paso

h_f = altura libre

K = constante del resorte en Kg/cm

X = deformación

Recomendaciones de diseño:

$C > 3$; $\lambda \leq 12^\circ$; $N_r = 1$, para cada lado del resorte; Extremos del resorte escuadrados y amolados

$$\text{Ec. 5.1} \quad F_{\text{músculo}} = F_{\text{resorte}} + F_{\text{carga}}$$

$$F_{\text{músculo}} = 82 \text{ Kg.}$$

$$F_{\text{carga}} = 66 \text{ Kg.}$$

$$X = 1 \text{ cm}$$

Tenemos así una: $F_{\text{resorte}} = 16 \text{ Kg.}$

$$\text{Ec. 5.2} \quad K = F_{\text{resorte}}/X = 16 \text{ Kg/cm}$$

Para los cálculos tomamos:

$C=5$; $\lambda = 10^\circ$; asumimos $D=4 \text{ cm.}$; $h_f=9 \text{ cm.}$; $N_r = 1$

$$\text{Ec. 5.3} \quad T_g \lambda = S/\pi \cdot D$$

$$d = D/C$$

$$\text{Ec. 5.4} \quad N_a = (h_f - 2d)/S$$

Calculando, tenemos:

Dos resortes cada uno escuadrado y amolado y un $K = 16 \text{ Kg/cm}$

$$N_a \approx 4$$

$$N_t = 6$$

$$D = 4 \text{ cm}$$

$$d = 0.8 \text{ cm.}$$

5.2.3 Selección de los Rodamientos del Carro de Vibración.

$$\text{Ec. 5.5} \quad P_o = X_o * F_r + Y_o * F_a$$

$$P_o = \text{Carga estática equivalente} = 70 \text{ Kg}$$

Para una vida del rodamiento $V_h = 10.000$ horas, $n = 2000$ rpm

$$\text{Ec. 5.6} \quad C/P = 10.6 \text{ (Datos tomados del manual de rodamientos de la SKF)}$$

$P =$ Carga sobre el rodamiento

$X_o =$ Factor para carga radial

$F_r =$ carga radial

$Y_o =$ Factor para carga axial

$F_a =$ Carga axial ≈ 0

Tenemos:

$$C = 10.6 * 70 = 742 \text{ Kg.}$$

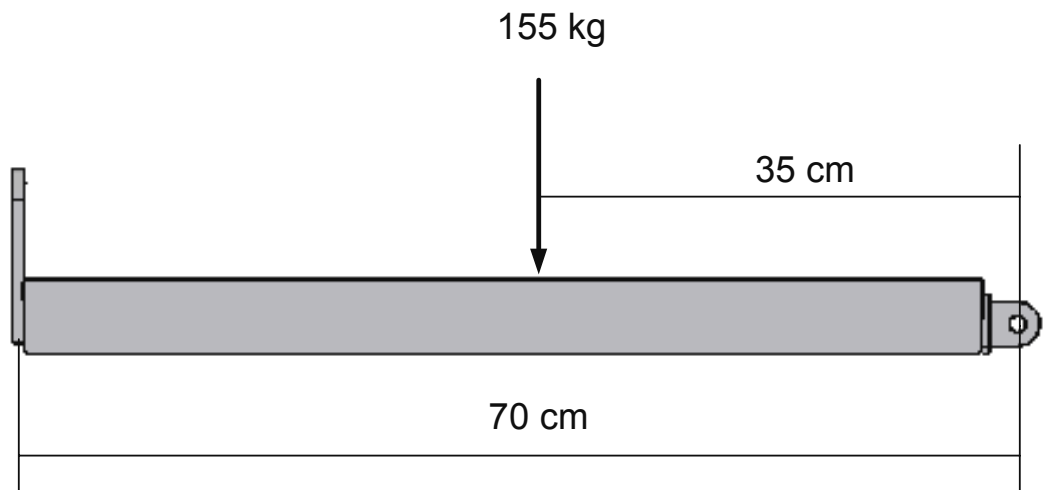
Seleccionamos el rodamiento especificación **SKF 6303**

5.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE BUZAMIENTO

En el sistema de buzamiento se utilizaron ángulos, platinas y laminas de las mismas especificaciones de la estructura; ASTM A- 36 Y ASTM A-514 Grado A.

El peso que se requiere levantar en el cilindro de buzamiento es de 132,258 Kg. más el peso de la estructura de buzamiento que es de 17,76 Kg. y 5 Kg. de los accesorios del simulador, esto nos da un peso total de 155 kg.

Figura 55. Fuerzas en la placa de buzamiento



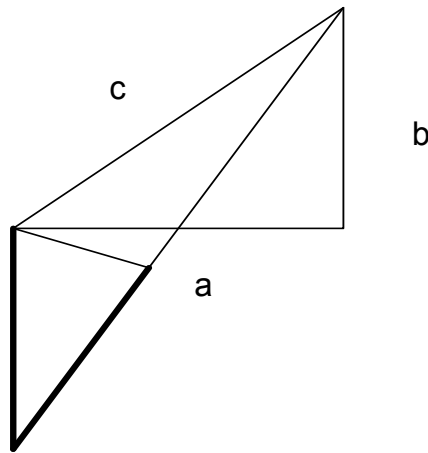
Fuente: Autores del libro

Si seleccionamos un cilindro para levantar el peso de 155 kg. a una distancia de 35 cm. del pivote necesitaríamos una carrera de 495 mm aproximadamente, seria extremadamente grande.

Entonces:

Si escogemos una carrera de 350 mm. Tenemos lo siguiente:

Figura 56. Longitud de la carrera de buzamiento



Fuente: Autores del libro

Si escogemos una carrera de 350 mm. Entonces, por pitágoras tenemos que **a** es:

$$\text{Ec. 5.7} \quad c^2 = a^2 + b^2$$

$$35^2 = 2a^2$$

$$a = (35^2 / 2)^2 = 24,75$$

$$a = 24 \text{ cm.}$$

a = b = Distancia del pivote al punto de aplicación de la fuerza.

C = Longitud del vástago.

Distancia de posicionamiento del cilindro = 24 cm.

$$\text{Ec. 5.8} \quad T = F * d$$

$$T = 155 \text{ kg} * 0,35 \text{ m}$$

$$T = 54,25 \text{ kg} - \text{m}$$

$$\text{Ec. 5.9} \quad F = T / d = 54,25 \text{ kg} - \text{m} / 0,24 \text{ m} = 226,04 \text{ kg}$$

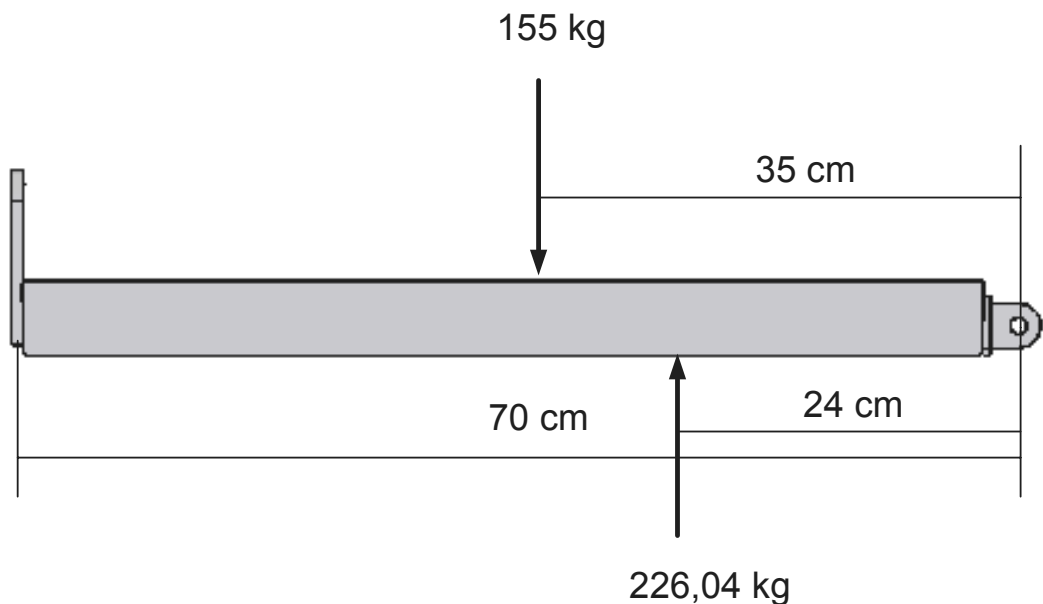
$$F = 226,04 \text{ kg}$$

T= Torque F= Fuerza d= Distancia.

Teniendo la fuerza que se necesita para lograr el buzamiento podemos seleccionar el cilindro neumático.

Posición para el acoplamiento del cilindro neumático.

Figura 57. Fuerza necesaria para lograr el ángulo de buzamiento



Fuente: Autores del libro

Se seleccionó un cilindro neumático doble efecto diámetro de émbolo 80 mm. fuerza teórica de avance con 6 bares de 3016 N y fuerza teórica de retroceso con 6 bares de 2721 N.

Especificaciones: Cilindro doble DNC-80-350-PPV-A (Ver Anexo F).

A continuación se presentan los parámetros de funcionamiento del cilindro neumático.

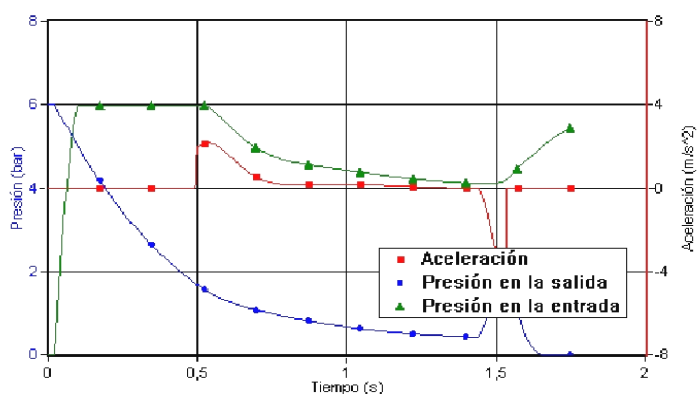
Ingreso - parámetros del sistema:

Longitud de carrera requerida	350 mm
Ángulo de instalación	90 °
Cantidad de cilindros dispuestos	1
Dirección del movimiento	extender
Presión de funcionamiento	6 bares
Masa en movimiento	250 Kg.

Resultados calculados:

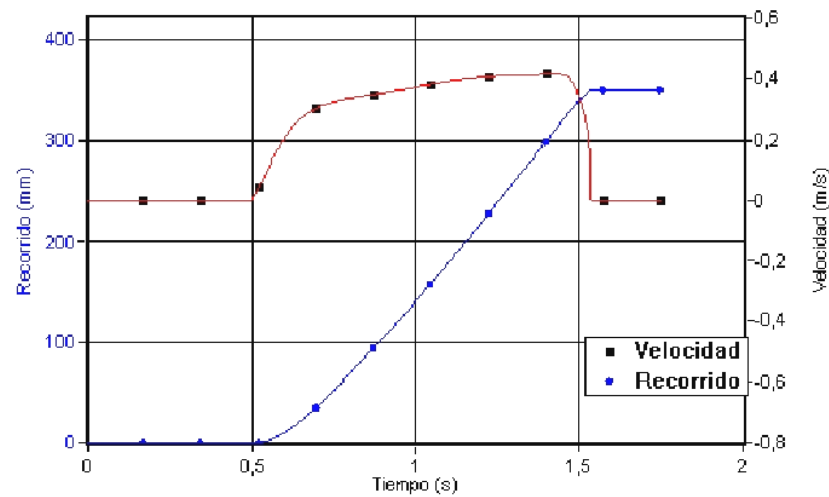
Tiempo total de posicionamiento	1,53 s
Energía dinámica de impacto	4,56 J
Velocidad promedio	0,22 m/s
Velocidad media del aire	97,24 m/s
Velocidad de impacto	0,19 m / s
Consumo de aire mínimo	18,1038 L
Máx. Velocidad	0,42 m / s
Regulación PPV	20 %

Figura 58. Presiones de entrada y salida al cilindro neumático



Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

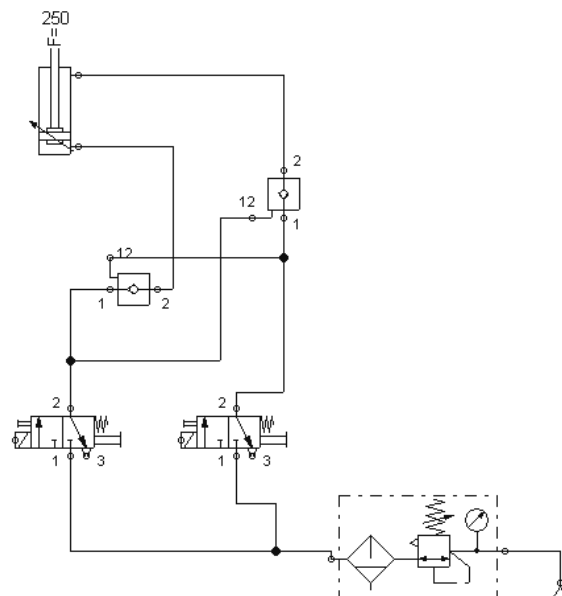
Figura 59. Velocidad y el recorrido del cilindro neumático



Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

La figura 60 muestra el diseño del circuito neumático del sistema de buzamiento realizado en FluidSIM-P 3. Se utilizó un cilindro, dos válvulas antirretorno, dos válvulas direccionales 3/2 la unidad de mantenimiento y la fuente de aire.

Figura 60. Diseño del circuito neumático del sistema de buzamiento



Fuente: Autores del libro

5.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMPACTACIÓN

Para realizar la compactación se seleccionó un cilindro neumático doble efecto en aluminio; para el giro y soporte del cilindro se seleccionó una barra perforada con las siguientes generalidades; acero al carbono—manganeso de alta resistencia aleado con vanadio y silicio, de grano fino, alta maquinabilidad, excelente soldabilidad y buena respuesta al tratamiento térmico.

Las laminas ángulos y platinas seleccionadas en acero ASTM A-36 y ASTM A-514 Grado A.

Se selecciono un cilindro neumático doble efecto de diámetro de embolo 80 mm. Especificaciones: Cilindro doble DNC-80-300-PPV-A (Ver Anexo F).

A continuación se presentaran los parámetros de funcionamiento del cilindro.

Ingreso - parámetros del sistema:

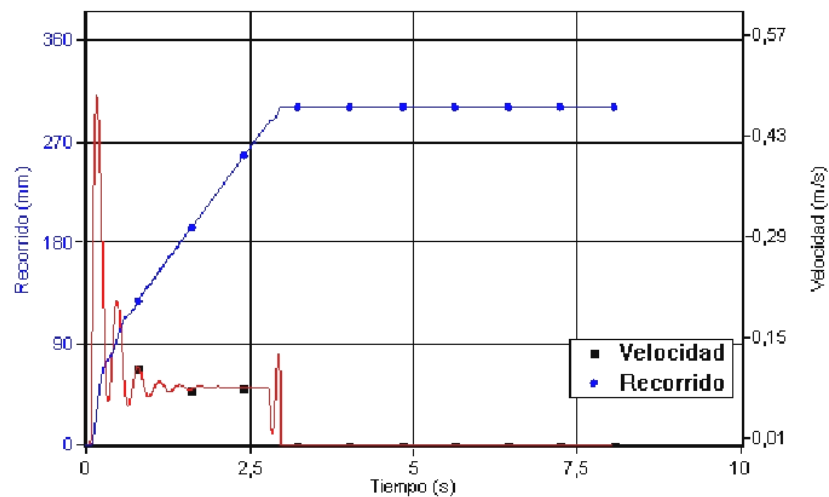
Longitud de carrera requerida	300 mm
Ángulo de instalación	-90 °
Cantidad de cilindros dispuestos	1
Dirección del movimiento	extender
Presión de funcionamiento	6 bares
Masa en movimiento	200 Kg.

Resultados calculados:

Tiempo total de posicionamiento	2,96 s
Energía dinámica de impacto	0,9 J
Velocidad promedio	0,1 m/s
Velocidad media del aire	15,38 m/s
Velocidad de impacto	0,09 m / s
Consumo de aire mínimo	16,6564 L

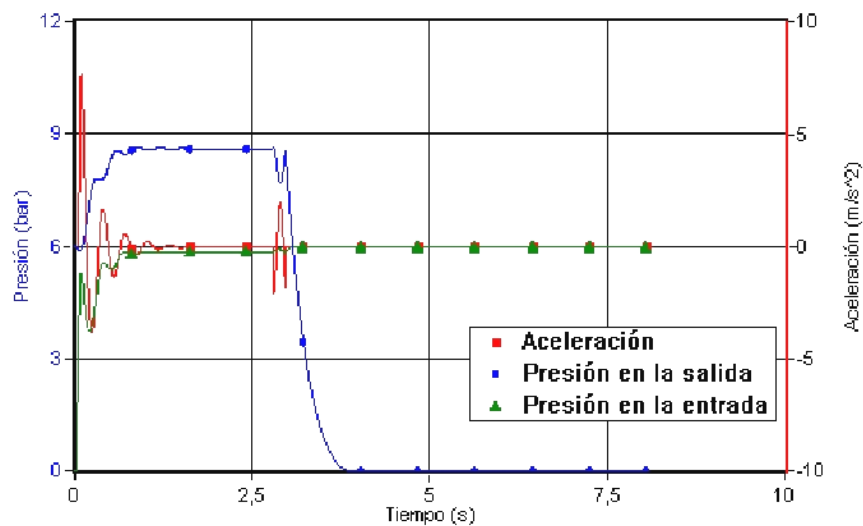
Máx. Velocidad	0,49 m / s
Regulación PPV	100 %

Figura 61. Grafica de velocidad y el recorrido del cilindro neumático



Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

Figura 62. Grafica de aceleración y presiones del cilindro neumático

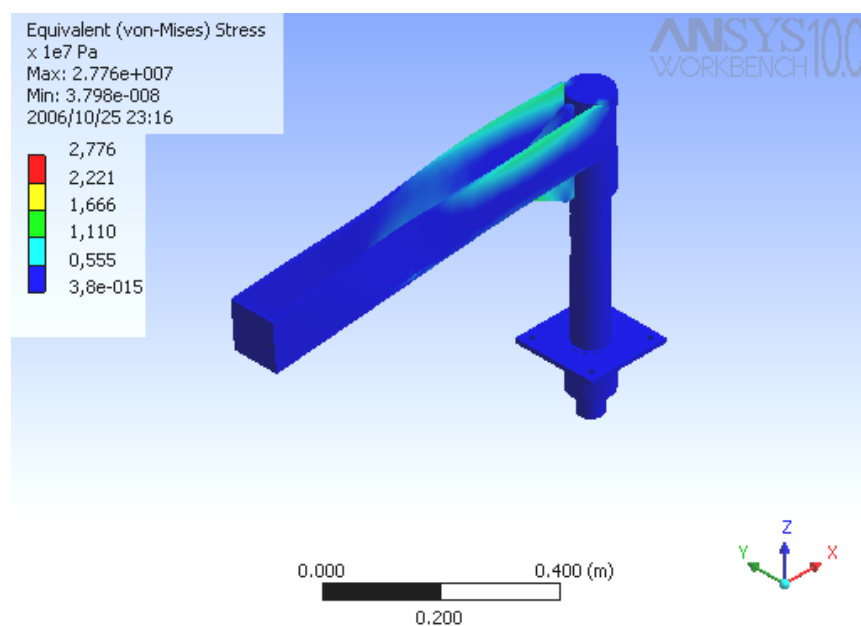


Fuente: PROPNEU Versión 4.1.10 de FESTO

Se analizó la estructura en ANSYS-WORKBENCH y se sometió a fuerzas externas correspondientes a fuerzas de compactación y el peso de los componentes, y el resultado que se obtuvo es una fuerza total aproximada de 260 Kg.

La fuerza fue aplicada en el centro del perfil en U en el sistema de compactación, los resultados obtenidos nos dicen que el comportamiento de la estructura a estos esfuerzos es confiable.

Figura 63. Distribución de esfuerzos de Von-mises en el sistema de compactación

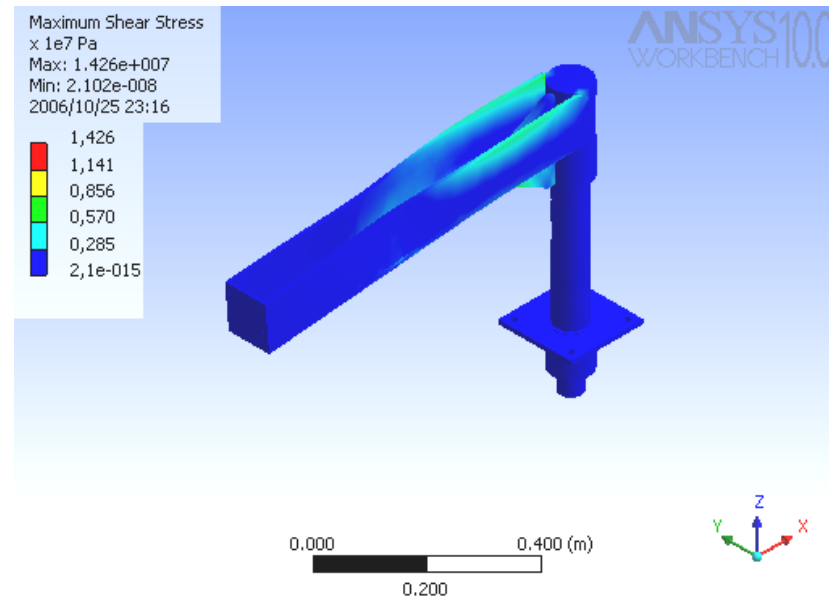


Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

En la figura 63 se observa que el esfuerzo soportado por la estructura no presenta ninguna deformación considerable.

Máximo esfuerzo cortante aproximadamente de 15 Mpa

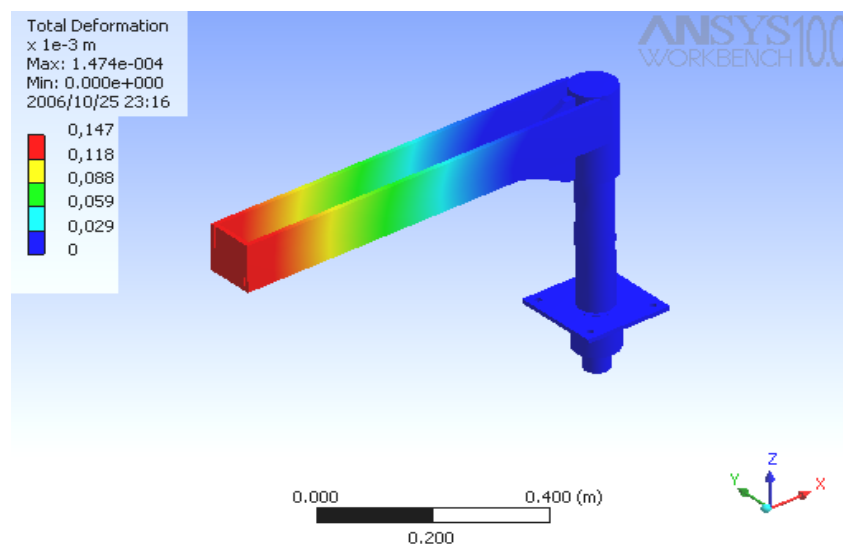
Figura 64. Máximo esfuerzo cortante en compactación



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

En la figura 65 se observa que la maxima deformación se encuentra en la punta de la estructura y es de 0.147 mm

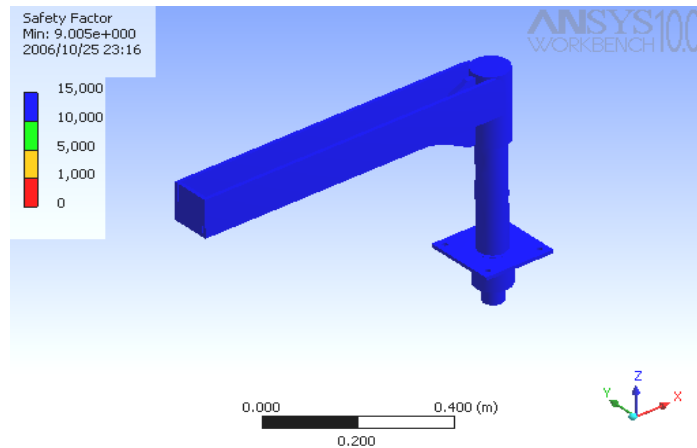
Figura 65. Deformación máxima en compactación



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Lo que nos arroja un factor de seguridad $N = 9$

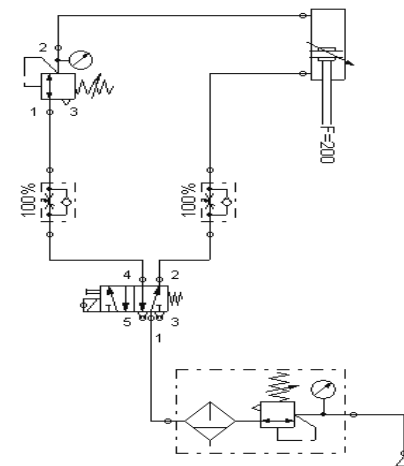
Figura 66. Factor de seguridad en compactación



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

La figura 67 muestra el circuito neumático del sistema de compactación realizado en FluidSIM-P 3. Este circuito consta de un cilindro, una válvula reguladora de presión, dos válvulas reguladoras de caudal, una válvula direccional 5/2 una unidad de mantenimiento y la fuente de aire comprimido.

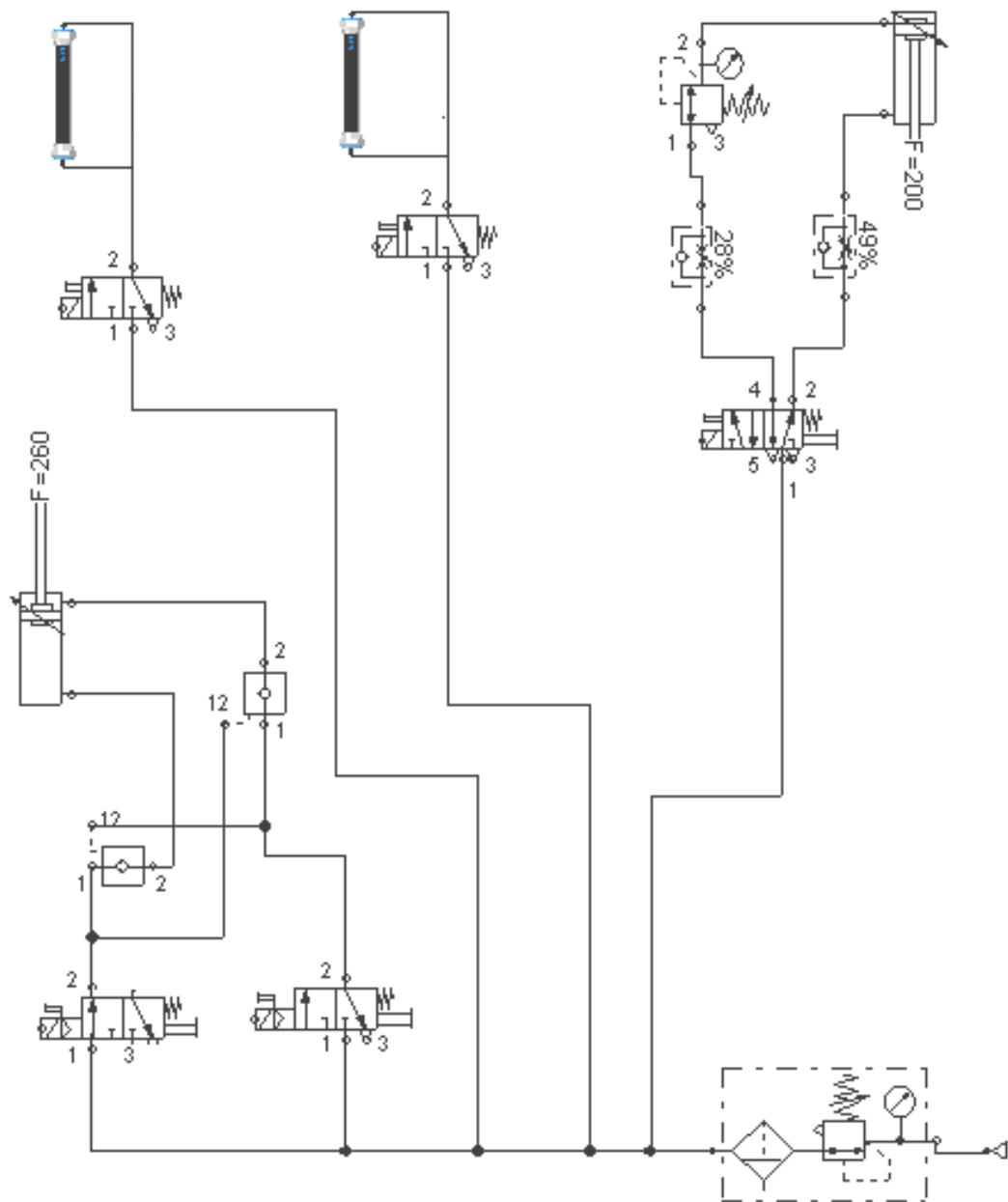
Figura 67. Diseño del circuito neumático del sistema de compactación



Fuente: Autores del libro

5.5 DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO DEL SISTEMA COMPLETO

Figura 68. Diseño del circuito neumático total



Fuente: Autores del libro

5.6 DISEÑO DE LA CELDA

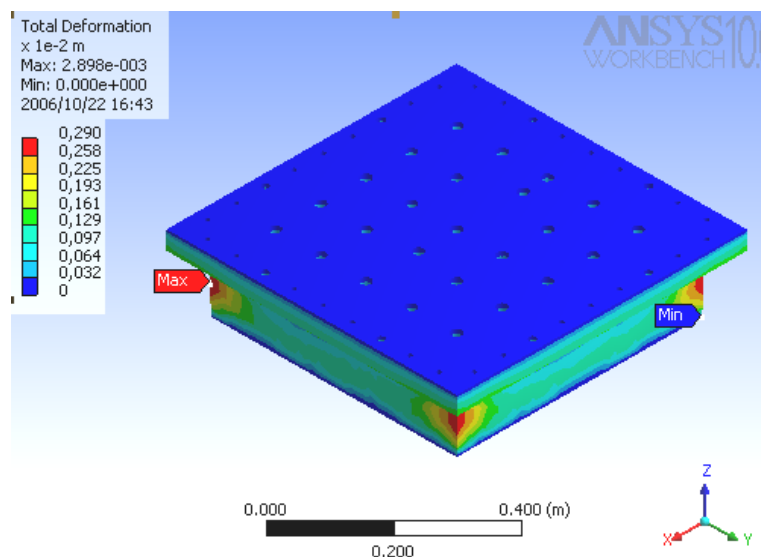
La presión a la cuál va a ser sometido el recipiente es aproximadamente 3 psi, pero es necesario para efectos de seguridad, realizar el estudio a presiones por encima de la requerida y así aumentar los factores de seguridad. El simulador fue diseñado en polimetacrilato de metilo (acrílico), debido a la necesidad que se tiene de aislar eléctricamente su parte interna con los alrededores (ver Anexo G). Debido a la complejidad de la geometría para el análisis estructural se utilizó el software ANSYS-WORKBENCH y se probó para una presión mínima de 5 psi y una presión máxima de 10 psi a una temperatura constante de 80 ° C; los resultados de la simulación se consignan a continuación.

Análisis ANSYS-WORKBENCH:

Presión máxima: 10 Psi, Temperatura constante de 80 °C.

Con esta presión la deformación es recipiente es de casi 3 mm, como se observa a continuación:

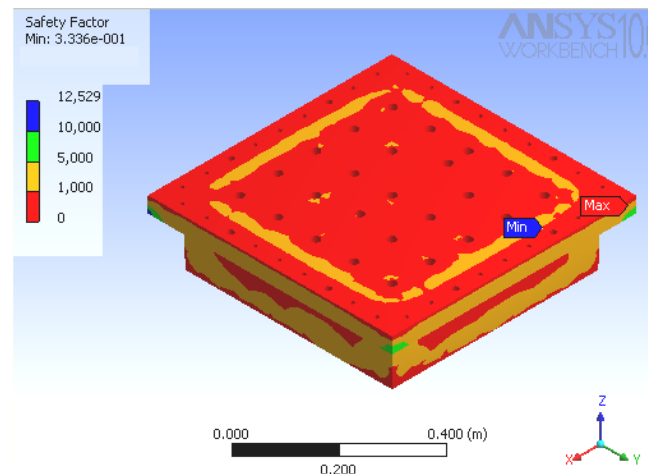
Figura 69. Deformación total en la celda



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

El factor de seguridad es menor a $N = 1$, por lo que se hace necesario realizar otra prueba, a una presión menor para evitar posibles fallas en el recipiente, y obtener un factor de seguridad por encima de 1.

Figura 70. Factor de seguridad en la celda.

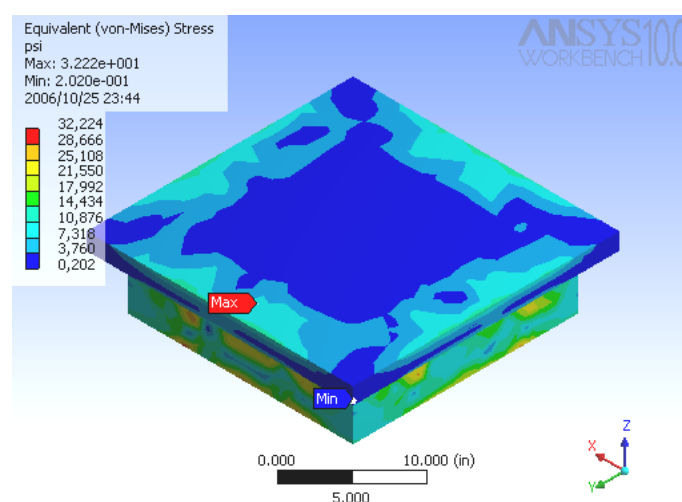


Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Presión mínima: 5 Psi, 80 ° C de temperatura constante

A continuación la distribución de esfuerzos de Von-mises en la celda

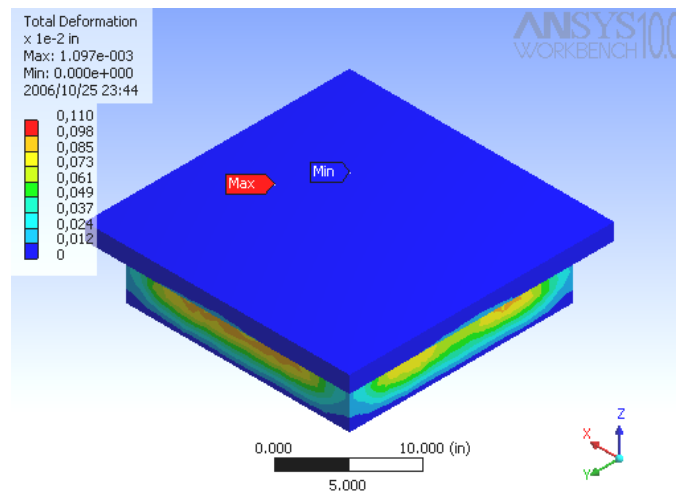
Figura 71. Esfuerzo equivalente (Von-Mises) en la celda



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

A esta presión la deformación máxima en las caras laterales del recipiente es de 0.050038 mm.

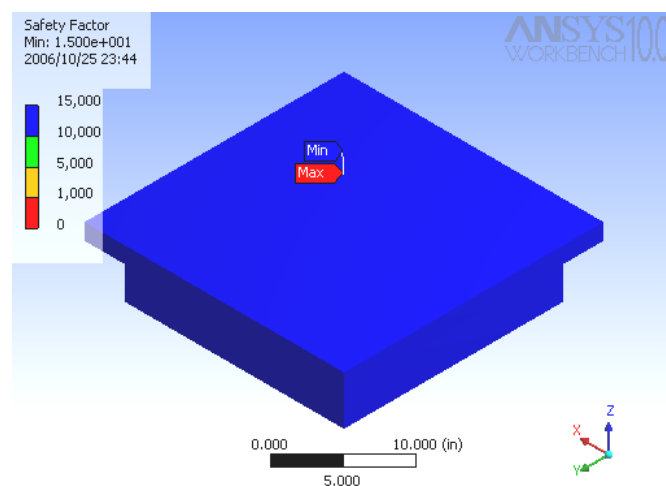
Figura 72. Deformación total en la celda



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

De esta manera, el factor de seguridad nos arroja un resultado de $N = 15$, por lo que nos permite concluir que es una buena presión si tenemos en cuenta que las pruebas se realizarán máximo a un delta de 3 Psi.

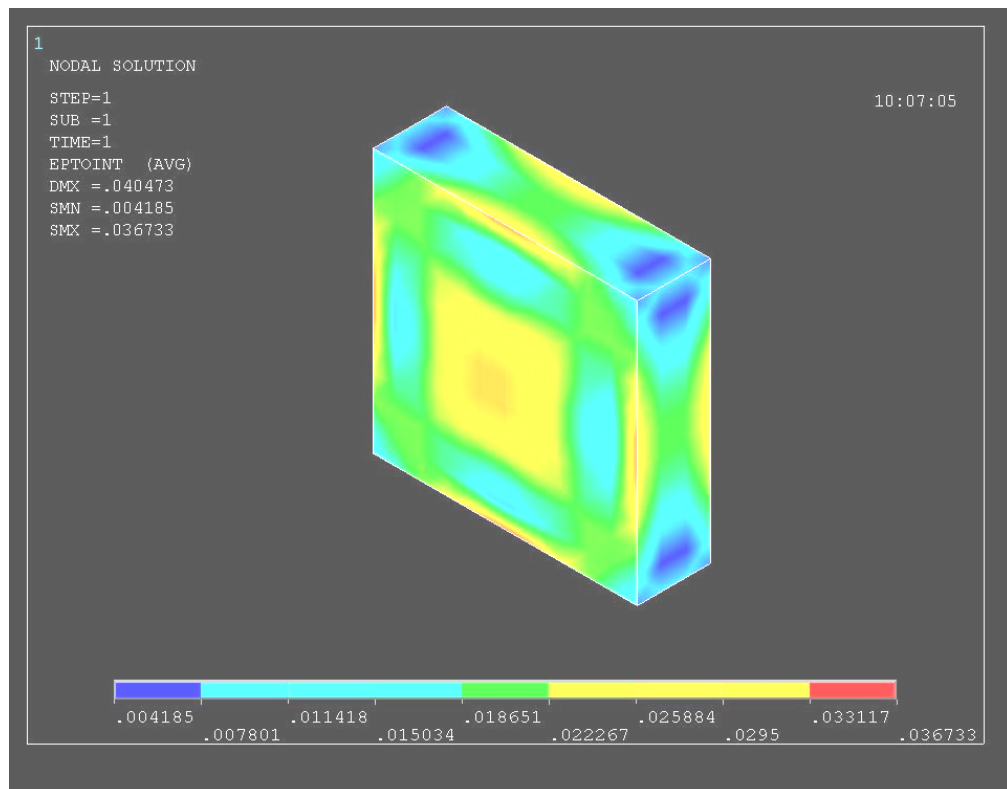
Figura 73. Factor de seguridad de la celda



Fuente: Software Ansys-Workbench 10.0

Para corroborar los datos arrojados en workbench, se realizó el mismo análisis en ANSYS, y los resultados obtenidos de deformación son de 0.04 mm en sus caras laterales, o sea 0.01 mm menos que en workbench, por lo que podemos tener una confiabilidad apreciable.

Figura 74. Análisis de deformaciones Ansys



Fuente: Software Ansys 10.0

A una presión de 5 psi, se observa una deformación de 0.04 mm, que es un valor recomendable, es un buen criterio si tenemos en cuenta que la presión de trabajo va a estar 2 psi por debajo de la utilizada para el experimento.

5.7 DISEÑO DE LOS POZOS

Para el diseño de los pozos se selecciono el material teflón debido a la necesidad de tener un material con propiedades mecánicas y aislantes de buena resistencia a los aceites, grasas, y solventes.

En general el teflón es un termoplástico industrial duro, resistente a la abrasión con buena tenacidad a las temperaturas (Ver Anexo H).

5.7.1 Pozos Productores / Inyectores

Estos pozos constan de una zona productora y una zona de medición, la zona productora contiene una malla para evitar la contaminación con arena de la formación en los diferentes ductos de la tubería.

La zona de medición cuenta con una cinta termocupla para censar la temperatura en el punto de inyección de corriente (ver Anexo E).

La termocupla a utilizar es una tipo K, referencia TC40 de MINCO, con dimensiones (19,1 mm x 19,1 mm x 1,7 mm). Calibre del cable: 24 AWG sólido. El rango de temperatura es de -200 a 200 ° C.

Material: Teflón

Este pozo tiene un diámetro externo de ½" Diámetro interno de ¼".

Malla # 200.

Cable de conexión de corriente. (Electrodo).

Para la inyección de corriente se utilizara un cable calibre 18 AWG de cobre (1,024 mm de diámetro) que lleva la corriente desde la cabeza del pozo hasta el electrodo, el cable se suelda a un electrodo hecha de cobre forrado en malla # 200 que se enrosca al teflón.

5.7.2 Pozos de Medición

El pozo esta diseñado para realizar la medición de voltaje en cuatro puntos de la formación y medición de temperatura en dos puntos; por medio de termocuplas.

Para la medición de tensión se requieren cables de protoboard, tipo unifilar de 0,6 mm de grosor, la ranuras del pozo son diseñadas para que el cable se enrolle a su alrededor, que va por el interior del pozo y sale a un dispositivo de adquisición de datos, se diseñaron 4 ranuras para ese mismo numero de sensores de tensión por pozo, las salidas del pozo al sistema de adquisición de datos se identifica por medio de colores corresponden a diferentes niveles de medición de voltaje como son:

- **Amarillo:** 2,5 cm. con respecto al nivel superior de la arena de formación.
- **Azul:** 5 cm. con respecto al nivel superior de la arena de formación.
- **Rojo:** 6,5 cm. con respecto al nivel superior de la arena de formación.
- **Verde:** 8 cm. con respecto al nivel superior de la arena de formación.

Debido a que no existe una norma internacional que gobierna esta disposición, se adoptan estas distribuciones propias de los diseñadores de los pozos de medición.

Se utilizan dos termocuplas para el censar la temperatura y presentan las siguientes especificaciones (ver Anexo E):

Termocupla cinta tipo K, referencia TC40 de MINCO, con dimensiones (19,1 mm x 19,1 mm x 1,7 mm). Calibre del cable: 24 AWG sólido. El rango de temperatura es de -200 a 200 ° C.

Termocupla bulbo tipo K, referencia TC2741 de MINCO, con longitud de 7,6 mm y diámetro de 2 mm, Calibre del cable: 30 AWG sólido. El rango máximo de temperatura es de 150 ° C.

5.8 SELECCIÓN DE LAS BOMBAS

Para la selección de las bombas se tomaron los datos del campo.

Luego del análisis dimensional y aplicar las relaciones necesarias para el escalamiento, se obtuvieron los siguientes datos para la inyección de los fluidos.

Tabla 12. Tasa de salmuera

Cálculo de la Tasa de salmuera				
Parámetro	Prototipo	Unidades	Modelo	Unidades
<i>Tasa_salmuera</i>	10	<i>Bb/d</i>	0,05982	<i>cc/seg</i>

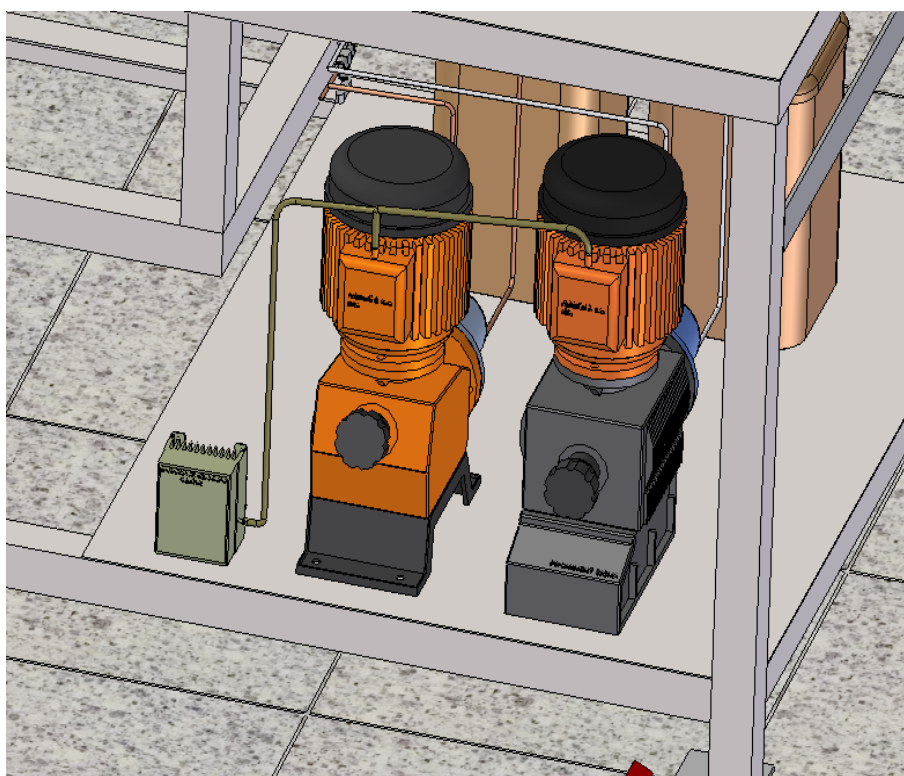
Fuente: Centro de investigación del gas y del petróleo

Según los cálculos la tasa de fluidos a inyectar es de 0,05982 cc/seg, esto equivale a 0,5849 gal/h.

Para la inyección de salmuera se utiliza una bomba de desplazamiento positivo dosificadora de émbolos **ProMinent Sigma S2Ba HK**, referencia **2HK 23004**, la taza de inyección de esta bomba es de 1,2 gal /h, los demás datos técnicos se encuentran en los anexos (ver Anexo B).

Para la inyección de aceite se selecciono la bomba **ProMinent @ Meta MTKA**, referencia **10617** (Piston dosing pumps), la taza de inyección e esta bomba es de 5,4 gal/h (Ver Anexo B).

Figura 75. Bombas



Fuente: Autores del libro.

6. PRESUPUESTO

Los costos de los diferentes elementos y accesorios en el diseño del componente mecánico del modelo físico escalado se presentan a continuación, clasificando su relación por funciones.

Tabla 13. Presupuesto

DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
ESTRUCTURA			
Mesa soporte	1'600,000,	1	1'600,000
Angulo de 2"x2"x3/16"			
Lamina calibre 16			
Sistema de vibración	1'000,000	1	1'000,000
Angulo			
Músculo neumático			
Resortes			
Rodamientos			
Sistema de compactación	1'100,000	1	1'100,000
Barra perforadora AISI 1518			
Plancha de compactación			
Guías			
Angulo			
Angulo en U			
Sistema de buzamiento	600,000	1	600,000
Lamina calibre 16			
Angulo de 2"x 2"x 1/8"			
Maquinado celda de acrílico	300,000	1	300,000
Pozos medición, prod/inyect	30,000	25	750,000
Acondicionamiento y ensamble	850,000	1	850,000
SUBTOTAL			6'200,000

SISTEMA NEUMÁTICO			
Sistema de compactación			
Cilindro DCN-80-300-PPV-A	737,292	1	737,292
Placa fija FNC-80	107,712	1	107,712
Electroválvula MFH-5-1/4	278,000	1	278,000
Bob. Magnética MFSG-24/DC	47,656	1	47,656
Racor Rápido QS-3/8-8	7,450	2	14,900
Racor Rápido QS-1/4-8	7,300	4	29,200
Regul de caudal GRLA-3/8	66,470	2	132,940
Regul de presión LR-1/4-D	122,470	1	122,470
Sistema de buzamiento			
Cilindro DCN-80-350-PPV-A	757,608	1	757,608
Horquilla SGS-M 20X1,5	148,263	1	148,263
Fija Oscilante SNCB-80	123,869	1	123,869
Caballote cilindro-LN-80	113-236	1	113,236
Electroválvula MFH-3-1/4	255,000	2	510,000
Bob Magnética MSFG-24DC	47,656	2	95,312
Racor Rápido QS-3/8-8	7,450	2	14,900
Regul de caudal GRLA-3/8-B	66,470	2	132,940
Válvula Antirretorno HGL-1/4	159,634	2	319,268
Racor Rápido QS-1/4-8	7,300	6	43,800
Racor Rápido QS-1/4-8-B	15,800	2	31,600
Sensor posición MLO-POT	1,585,000	1	1,585,000
Conector LWG SD-4-WD-7	30,000	1	30,000
Sistema de vibración			
Mas Neumático MAS-20	590,527	2	1'181,054
Electroválvula MHE2-MS1H	210,000	2	420,000
Racor Rápido QSM-M7-6-1	7,327	6	43,962
Conector C/CABL KMYZ	11,000	2	22,000
ACCESORIOS NEUMÁTICOS			
Válvula de corredera W-3-1/4	104,862	1	104,862
Acople QM 1/4- 1/4	4,427	1	4,427
Racor Rápido QS-1/4-8	7,300	2	14,600
Conector por en QST-8-6	15,600	1	15,600
Conector por en QST-6	15,000	1	15,000
Tubo flexible PUN-8X-1,25BL	5,480	10 m	54,800
Tubo flexible PUN-8X-1,BL	4,180	5 m	20,900
Silenciador C/R U-3/8	28,500	2	57,000
Racor Rápido QS-3/8-8	7,450	1	7,450
Sistema de mantenimiento		1	
SUBTOTAL			

COMPONENTES			
Celda en acrílico	950,000	1	950,000
Recipientes de recolección	150,000	2	300,000
Sello neopreno	61,248	66 cm.	92,800
Oniometro	45,000,	1	45,000
Ruedas	30,000,	4	120,000
Teflón nastro professionale	3,500,	5	17,500
Malla # 200	180,000,	0,25 m	45,000
ACCESORIOS SWAGELOK			
Racores de ¼"	5,000	16	80,000
Tubo flexible	7,000	12 m	84,000
ACCESORIOS HIDRÁULICOS			
Manguera de ¼"	17,000,	4m	68,000
Racor 5/16" - ¼"	2,000,	2	2,000
Acople 1/4" macho	5,600,	14	78,400
Válvulas antirretorno		2	
Acople T de ¼"		2	
SUBTOTAL			15'016,900
IMPREVISTOS		10%	1'501,690
TOTAL COMPÓN MECÁNICOS			16'518,590
ACCESORIOS ELÉCTRICOS			
Sensor de presión	4'456,620	3	13'369,860
Cable sensor de tensión	150	80m	12,000
Fuente de voltaje	526,000	1	526,000
Accesorio de montaje en pared	345,000	3	1'035,000
IVA - descuento			657,818
SUBTOTAL			32'119,268
F-P A-L 112 modulo 16 canales	2'343,484	3	7'430,452
FP- TC- 120 8-Ch termocuplas modulo field point	1'769,904	6	10'619,424
FP-TB-1 Base terminal field point I/O módulos.	393,312	6	2'359,872
FP-TC-120 Base isotérmica y termocuplas	721,072	6	4'326,432
Modulo network F-P -1000	1'655,188	1	1'655,188
FP-DO-400 Discrete Output modulo field point.	819,400	1	819,400
FP- AO-200 8-ch Discrete Output modulo field point.	2'081,276	1	2'081,276

FP-1001 RS-485network module	1'655,188	1	1'655,188
FP-AI-102 Analog Input Module	1'769,904	1	1'769,904
SUBTOTAL			32'317,136
IVA			5'170,741
SUBTOTAL			37'487,877
TOTAL			69'771,145

Fuente: Autores del libro

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.** El simulador físico escalado cumple con los requerimientos iniciales propuestos por el CIGP (Centro de investigación del gas y del petróleo), es decir recipiente empacado con grava (arena de una formación petrolífera) con cierre hermético y en materiales acrílicos diseñado con soporte CAD (Solid Edge V.14) y CAE ANSYS-Workbench que permite albergar diferentes puntos de medición de temperatura, tensión y corriente eléctrica al interior del empaque de arena, con sus respectivos accesorios en Teflón y Nylon 6,6 (Duralón) para que no influyan el patrón del campo eléctrico, así como los sistemas de buzamiento (inclinación), vibración, compactación y los sistemas de distribución y recolección de fluidos.
- 2.** También se diseñaron los pozos de medición e inyectores/productores en Politetrafluoretileno conocido comercialmente como teflón, material que presenta buenas resistencias mecánicas térmicas y dieléctricas y la estructura general que soporta todo el simulador y sus componentes.
- 3.** Se contribuyó con CIGP, Conciencias, Hocol S.A. y la Universidad Industrial de Santander, entidades interesadas en la investigación sobre la aplicabilidad de un sistema de calentamiento eléctrico resistivo que funcione adecuadamente en el fondo de un pozo, de tal manera que reduzca la viscosidad del crudo y aumente el factor de recobro del mismo.
- 4.** Un inconveniente en el desarrollo del proyecto fue la falta de presupuesto para una mejor investigación y desarrollo del mismo.

5. Algunos de los requerimientos iniciales como las dimensiones del recipiente entre otros fueron cambiadas durante el curso de la investigación debido a la naturaleza de la misma.
6. Se recomienda no aumentar el delta de presión a más de 5 PSI ni a una temperatura de más de 80° C.
7. Es indicado utilizar elementos de precisión para sujetar y fijar las conexiones roscadas, los pozos de medición y los pozos de inyectores/productores.
8. Se recomienda implementar la unidad de mantenimiento neumático para mantener el sistema trabajando en condiciones adecuadas.

8. BIBLIOGRAFIA

1. S.M. FAROUQ ALI J. Pet. Tech., 477 (April 1972).
2. W.H. OSGOOD, Increasing the Recovery of Petroleum-vol. I & XI – first edition (McGrawHill, 1930).
3. LEVERETT, M. C., LEWIS W.B., Y TRUE, M.E.; "Dimensional-Model Studies of Oil-Field Behavior," Trans.AIME(1942) 146,175
4. PURCELL, W.R.: "Capillary pressures", Trans.AIME(1949) 186,39
5. ENGELBERTS, W.F., Y KLINKENBERG, L.J.: "Laboratory Experiments on the Displacement of Oil By water from Packs Of granular Material," Proc. Third World Petroleum Congress 1951
6. ROSE, WALTER, GILCHRIST, Y RALPH E.: "The Use of models in Reservoir Engineering Studies" Preprint for AIME Meeting, Oct., 1951
7. RAPOPORT, L.A., Y LEAS, W.J.: "Properties of Linear Waterfloods," Trans.AIME (1953) 198,139
8. L.A. RAPOPORT "Scaling laws for use in design and operation of water-oil flow models" TRANS AIME VOL 204. AGOSTO DE 1955, SPE 415-5.
9. PUJOL, L., BOBERG, T.C., Esso Production Research Co. "Scaling Accuracy of Laboratory Steam Flooding Models". Source SPE California Regional Meeting, 8-10 November, Bakersfield, California, Copyright Copyright 1972

American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc.,SPE 4191

10.H.R. CRAWFORD, G.H. NEILLG B.J. BUCY Y P*B. CRAWFORD~J. Pet. Tech.r.237, (March1963).

11.11 L.W. HELM and V.A. JOSNEDAL, J. Pet. Tech., 1427 (December1974).

12.FAROUQ ALI, S.M., Pennsylvania State U. Heavy Oil Recovery - Principles, Practicality, Potential, and Problems. Source SPE Rocky Mountain Regional Meeting, 15-16 May, Billings, Montana. Copyright 1974, SPE 4935

13.BUTLER,R.M.; "A new Approach to the Modeling of Steam-Assisted Gravity Drainage," JCPT ,24-3 (1985),pp. 42-52

14.GARON, A.M., GULF R Y D CO.; KUMAR, M., GULF R Y CO.; LAU, K.K., GULF R Y D CO.; SHERMAN, M.D., GULF R Y D CO "A Laboratory Investigation of Sweep during Oxygen and Air Fireflooding". Journal SPE Reservoir Engineering. Issue Volume 1, Number 6, November. Pages 565-574. Copyright 1986. Society of Petroleum Engineers, SPE 12676

15.CHUNG, KH: "Heavy Oil Recovery By the Steam assisted Gravity Drainage Process," Ph.D. Thesis, University of Calgary(1988)

16.CHUNG, K.H Y BUTLER, R.M: "Geometrical Effect of steam Injection on the Formation of Emulsions in the Steam Injection on the formation of Emulsions in the Steam-Assisted Gravity Drainage Process," JCPT, January-February (1988), 36-42

- 17.**CHUNG, K.H Y BUTLER, R.M:” A theorical and experimental Study of Steam Assisted Gravity Drainage Process,” Meyers and Wiggings Eds, Proc,4th UNITAR/UNDP Int. Conf. on Heavy Crude & Tar Sands ,Vol 4 AOSTRA, Edmonton(1989),191 210.
- 18.**ISLAM, M.R., NOVA/Husky Research; CHAKMA, A., U. of Calgary; FAROUQ ALI, S.M., U. of Alberta, State-of-the-Art of In-Situ Combustion Modeling and Operations“. Source SPE California Regional Meeting, 5-7 April, Bakersfield, California. Copyright Copyright 1989, Society of Petroleum Engineers, Inc. SPE 18755
- 19.**M, R. ISLAM, EMERTEC Developments Inc., and S.S. WADADAR Y A. BANSAL, U. of Alaska Fairbanks, SPE 22177
- 20.**ISLAM, M.R., CHAKMA, AMIT” A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs with Bottomwater “, U. of Calgary. Journal SPE Reservoir Engineering, Issue May Pages 180-186. Copyright 1992, SPE 20258
- 21.**CHAKMA, AMIT, U. of Calgary; Jha, K.N., CANMET. Heavy-Oil Recovery from Thin Pay Zones by Electromagnetic Heating. Source SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 4-7 October, Washington, D.C. Copyright 1992, Society of Petroleum Engineers Inc., SPE 24817
- 22.**OVENS, JONATHAN, NIKO, HELMUT” A New Model for Well Testing in Water Injection Wells Under Fracturing Conditions “, Shell Intl. Petroleum Mij. B.V. Source SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 3-6 October, Houston, Texas. Copyright 1993, Society of Petroleum Engineers, Inc.,SPE 26425

- 23.** DUARTE, A. B.” Diseño de un modelo escalado en dos dimensiones para inyección de vapor”. ICP. 1993.
- 24.** AHNER, P.F., SUFI, A.H., Amoco Production Co. “Physical Model Steamflood Studies Using Horizontal Wells“. Journal SPE Reservoir Engineering Issue Vol 9, Number 1, February. Pages 59-66. Copyright 1994. Society of Petroleum Engineers, SPE 20247
- 25.** SASAKI, K., AKIBAYASHI, S., KOSUKEGAWA, H., AKITA UNIV.; KATO, M., JODCO; ONO, K., JNOC,” Experimental Study on Initial Stage of SAGD Process Using 2-Dimensional Scaled Model for Heavy Oil Recovery“. Source International Conference on Horizontal Well Technology, 18-20 November, Calgary, Alberta, Canada. Copyright 1996, Society of Petroleum Engineers, Inc., SPE 37089
- 26.** K. SASAKI*, S. AKIBAYASHI*, AKITA UNIV., N. YAZAWA*, JNOC; Q. DOAN*, Y S. M. FAROUQ ALI*,” Experimental Modelling of the SAGD Process 3/4 Enhancing SAGD Performance with Periodic Stimulation of the Horizontal Producer “U. of Alberta *SPE Members. Source SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 3-6 October, Houston, Texas. Copyright 1999. Society of Petroleum Engineers SPE 56544
- 27.** AKSHAY SAHNI, MRIDUL KUMAR, Chevron Petroleum Technology Company; RICHARD B. KNAPP, Lawrence Livermore National Laboratory “Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs”. Source SPE/AAPG Western Regional Meeting, 19-22 June, Long Beach, California. Copyright 2000, Society of Petroleum Engineers Inc., SPE 62550

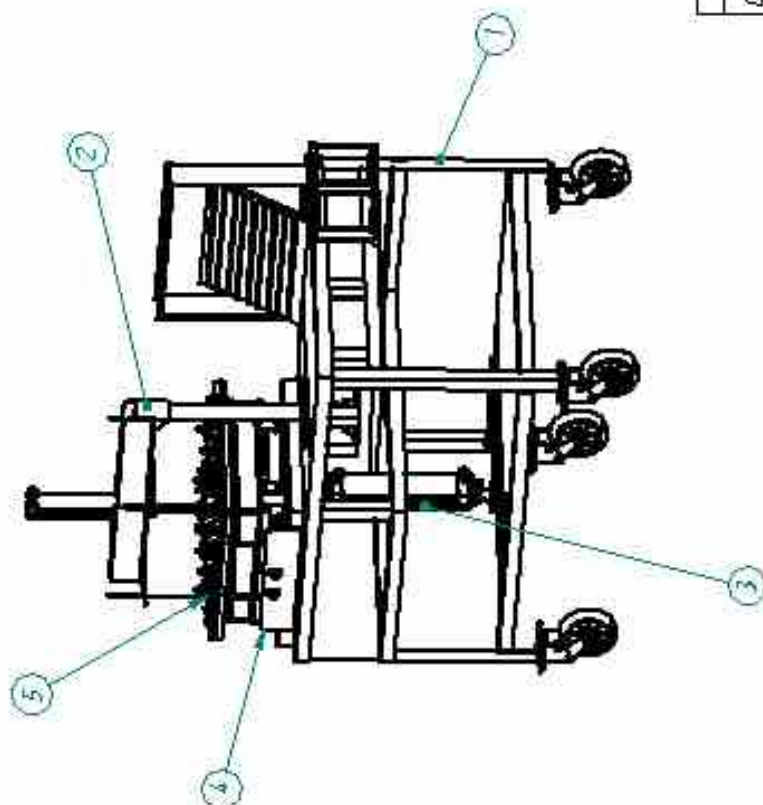
- 28.** PEI BAILIN, ZENG MING, CHEN QINLEI, WANG XIAODONG, "Physical Simulation Technique for Well Testing" China Petroleum University (Beijing). Source SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 September-3 October, New Orleans, Louisiana. Copyright 2001, Society of Petroleum Engineers Inc. SPE 71592
- 29.** CESAR OVALLES, ANGEL RICO, ALFREDO PEREZ-PEREZ, MIGUEL HERNANDEZ, NORA GUZMAN, LORENZO ANSELM, EDUARDO MANRIQUE " Physical and Numerical Simulations of Steamflooding in a Medium Crude Oil Reservoir, Lake Maracaibo, Venezuela ", PDVSA-Intevep. Source SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, 13-17 April, Tulsa, Oklahoma. Copyright 2002, Society of Petroleum Engineers Inc. SPE 75131
- 30.** BELTRÁN P, RAFAEL, "Introducción a la mecánica de fluidos" Editorial McGraw Hill, 1991, Pág. 159-179.
- 31.** AKSHAY SAHNI, MRIDUL KUMAR, Chevron Petroleum Technology Company; RICHARD B. KNAPP, Lawrence Livermore National Laboratory. "Electromagnetic Heating Methods for Heavy Oil Reservoirs". Source SPE/AAPG Western Regional Meeting, 19-22 June, Long Beach, California. Copyright 2000, Society of Petroleum Engineers Inc., SPE 62550 Pages 1-10
- 32.** ISLAM, M.R., CHAKMA, AMIT "A New Recovery Technique for Heavy-Oil Reservoirs with Bottomwater ", U. of Calgary. Journal SPE Reservoir Engineering, Issue May. Copyright 1992, SPE 20258 Pages 180-182
- 33.** CESAR OVALLES, ANGEL RICO, ALFREDO PEREZ-PEREZ, MIGUEL HERNANDEZ, NORA GUZMAN, LORENZO ANSELM, EDUARDO MANRIQUE "Physical and Numerical Simulations of Steamflooding in a Medium Crude Oil Reservoir, Lake Maracaibo, Venezuela ", PDVSA-Intevep.

Source SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, 13-17 April, Tulsa, Oklahoma. Copyright 2002, Society of Petroleum Engineers Inc. SPE 75131 Pages 2-5.

- 34.** SARMAD S. SIDDIQI, ANDREW K. WOJTANOWICZ "A Study of Water Coning Control in Oil Wells by Injected or Natural flow Barriers Using Scaled Physical Model and Numerical Simulator" , Louisiana State University. Source SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 29 September-2 October, San Antonio, Texas. Copyright 2002, Society of Petroleum Engineers Inc., SPE 77415
- 35.** Manual de arenas para fundición, publicado por la AMERICAN FOUNDRYMEN'S SOCIETY, INC. DES PLAINES, ILLINOIS, EAU. Cáp. 3 Págs. 5-7, Cáp. 4 Págs. 8-12 Cáp. 5 Págs. 13-17
- 36.** P. CLOSE. Problems in sampling and sieve Testing Sand. AFS Transactions, vol. 70, p.727 (1962).
- 37.** CAICEDO HENRY, ATP ingeniería Ltda., "Análisis Granulométrico de arena" Fondo de Pozo Hocha 1, Laboratorio de química de producción, Hocol-Nimir, Hoja de Excel, 15 abril, 2002

ANEXOS

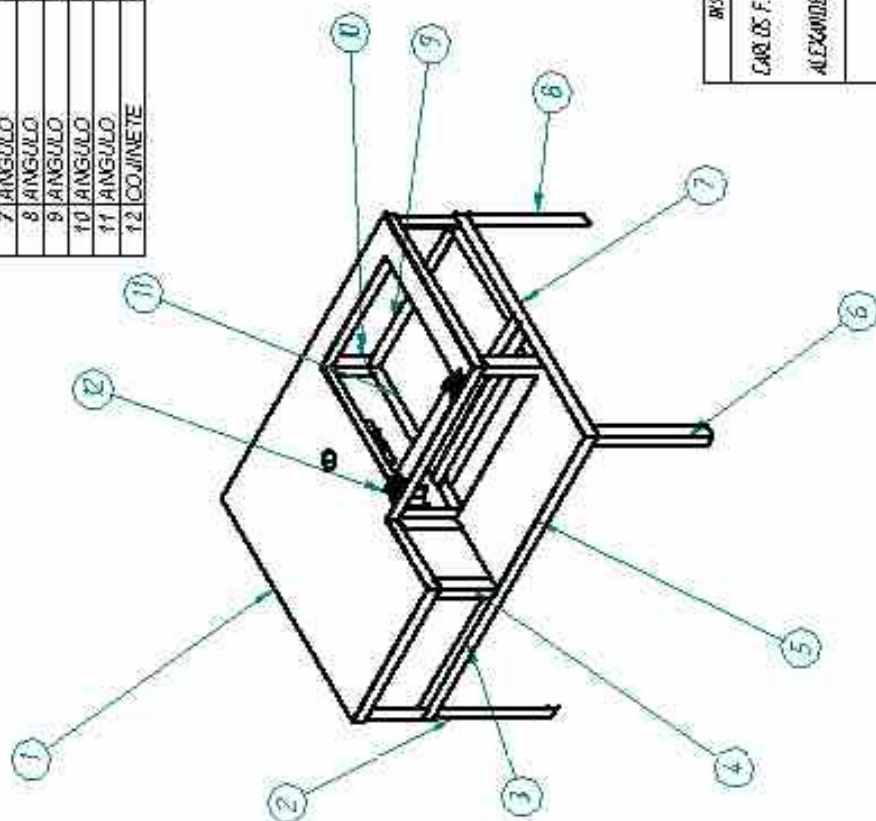
ANEXO A. PLANOS
(33 folios)



NO	NOMBRE
1	ESTRUCTURA
2	SISTEMA DE COMPACTACION
3	SISTEMA DE SUZAMIENTO
4	SISTEMA DE VIBRACION
5	SIMULADOR ESCALADO

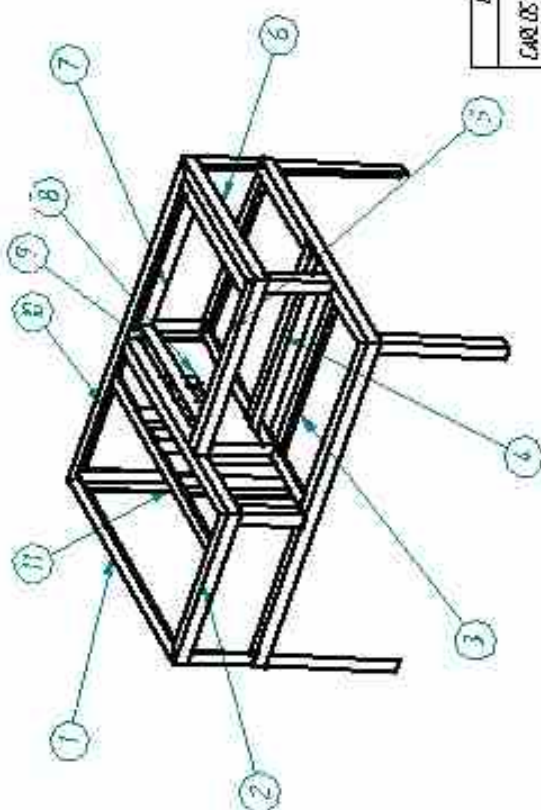
DOCENTES	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y DE PETROLIO
CARLOS F. BARALUIS PINEDA			
ALEXANDER LOPEZ PRADA			
ESTRUCTURA GENERAL			

No.	NOMBRE	MATERIAL	LONGITUD (mm)	NORMA
1	LAMINA SUPERIOR	ACERO CALIBRE 16		ASTM A-36
2	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	850	ASTM A-36
3	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	1395	ASTM A-36
4	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	250	ASTM A-36
5	LAMINA INFERIOR	ACERO CALIBRE 16		ASTM A-36
6	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	549	ASTM A-36
7	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	1095	ASTM A-36
8	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	850	ASTM A-36
9	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	750	ASTM A-36
10	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	298	ASTM A-36
11	ANGULO	ACERO 2x2x3/16 in.	1094	ASTM A-36
12	CONJUNTE	ACERO		ASTM A-36

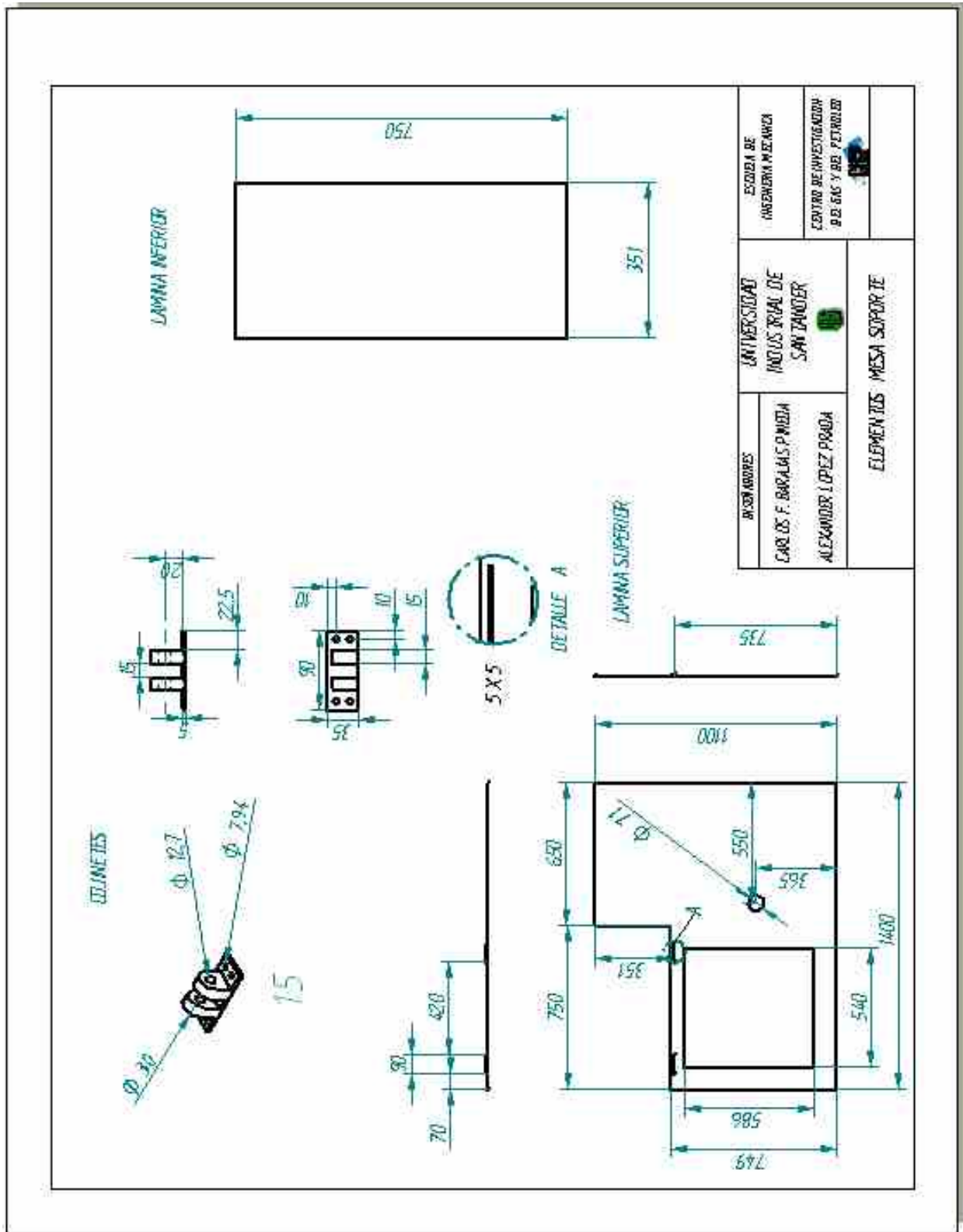


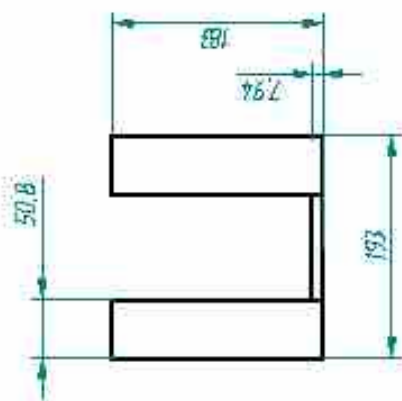
INGENIEROS	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SAN JUAN	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	CENTRO DE INVESTIGACION DE LAS Y DEL PETROLIO	
CARLOS F. BARALIAS PARRA	ALEXANDER LOPEZ PARRA	MESA SOPORTE		

No	NOMBRE	MATERIAL	LONGITUD(mm)	NORMA
1	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	1100	A STM A-36
2	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	650	A STM A-36
3	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	694	A STM A-36
4	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	747	A STM A-36
5	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	747	A STM A-36
6	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	746	A STM A-36
7	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	544	A STM A-36
8	SOPORTE COMPACTACION	ACERO 2X2X3/16 in		A STM A-36
9	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	692	A STM A-36
10	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	1400	A STM A-36
11	ANGULO	ACERO 2X2X3/16 in	1094	A STM A-36

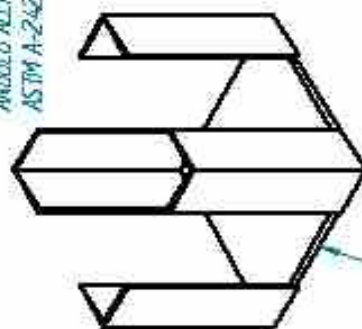


DISEÑADORES CARLOS F. BARALUIS PINEDA ALEXANDER LOPEZ PARRA	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SAN ZANER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
		CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y OIL PETROLIO
MESA SOPORTE		

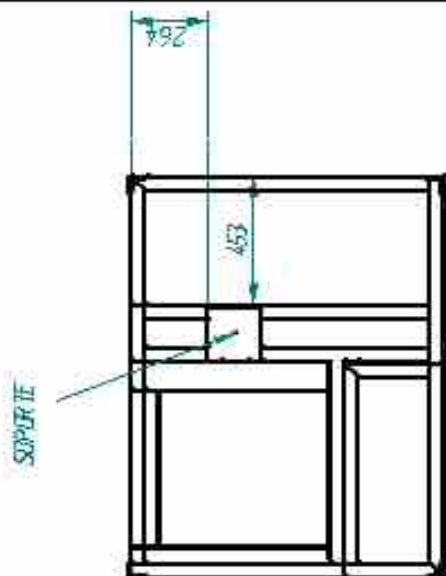
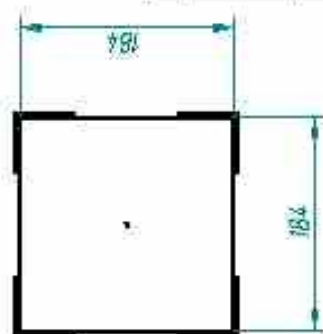




ANGULO NEGRO
ASTM A-242 DE 5 X 5 X 3/16 IN

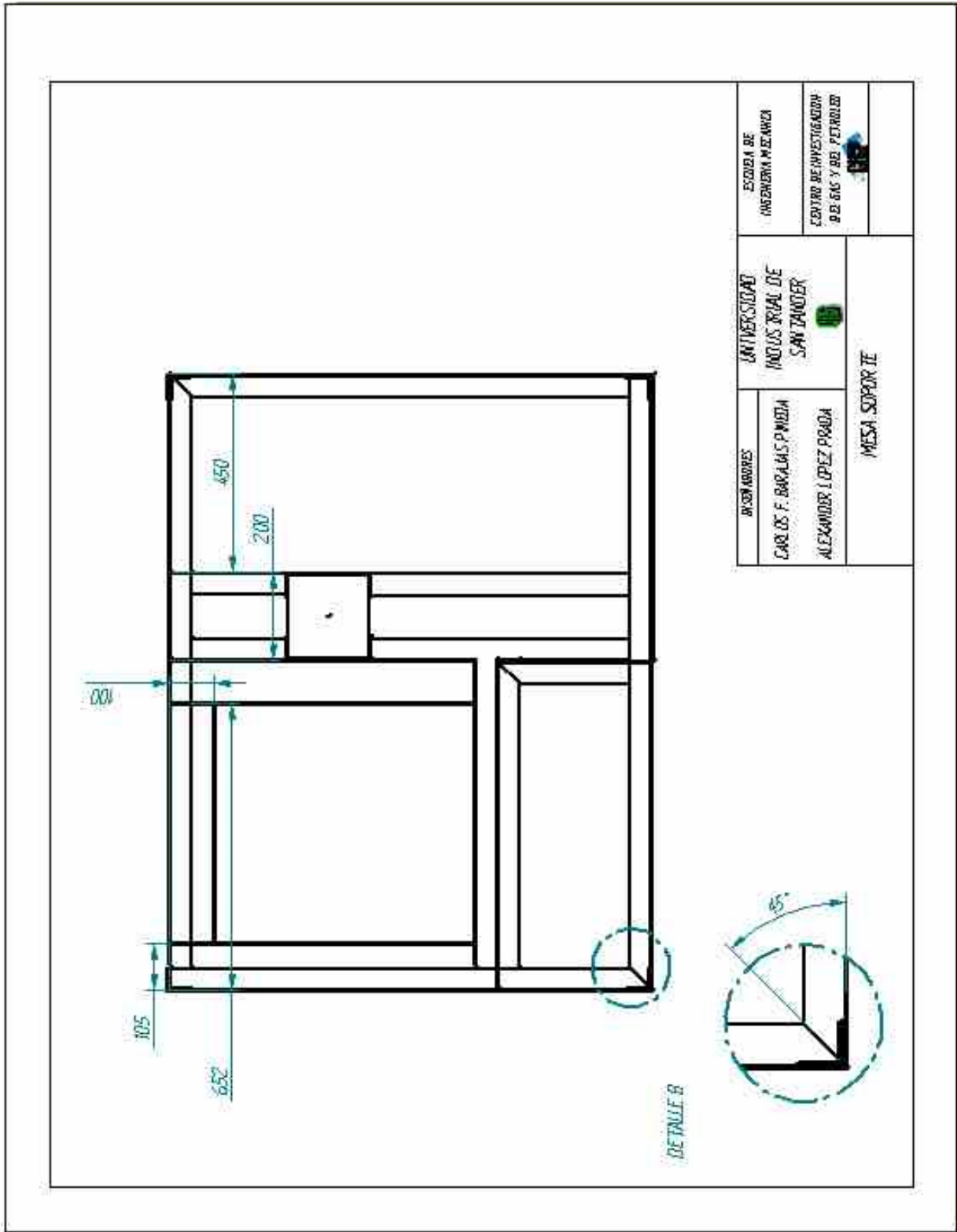


LAMINA ASTM A-36
ESPESOR 5/16 IN

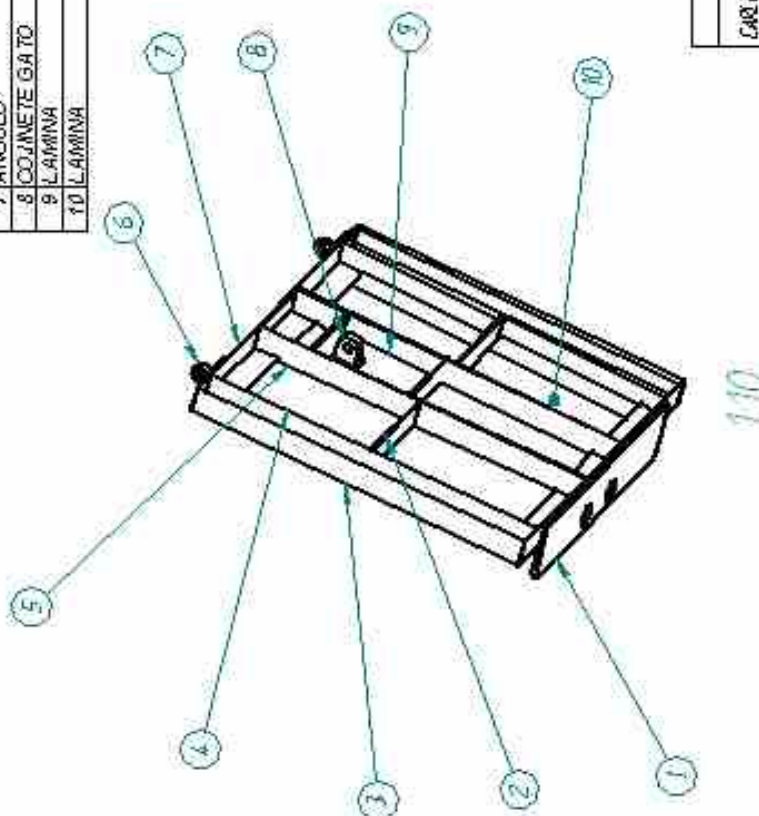


UBICACION DEL SOPORTE DE IMPACTACION EN LA MESA SOPORTE

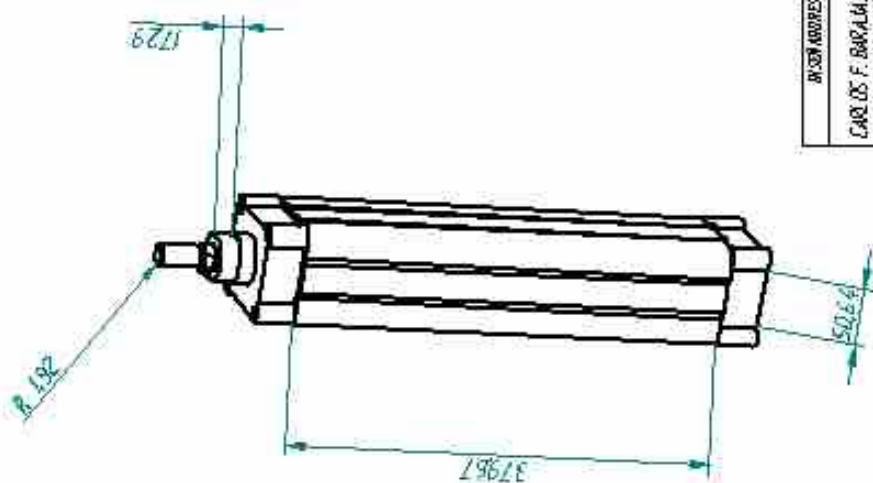
AUTORES	UNIVERSIDAD INSTITUTO VIAL DE SAN JUAN	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y OIL PETROLERO
CARLOS F. BARRALAS PACHECA			
ALEXANDER LOPEZ PRADA			
SOPORTE DE IMPACTACION			



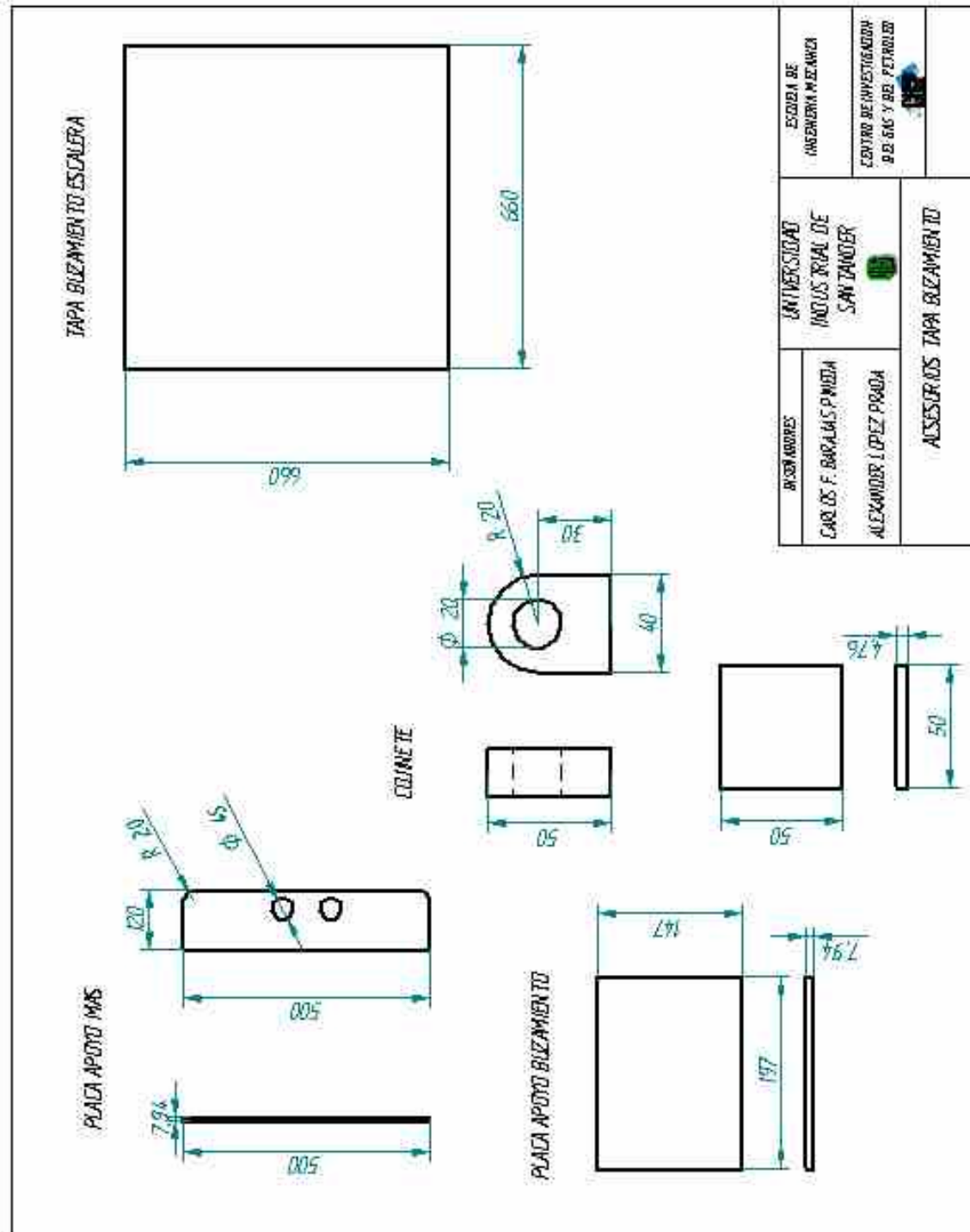
No	NOMBRE	MATERIAL	LONGITUD (mm)	NORMA
1	PLACA APOYO MAS	LAMINA		ASTM A-36
2	PLA TINA	ACERO 2x2x1/8 in	194	ASTM A-36
3	ANGULO	ACERO 2x2x1/8 in	660	ASTM A-36
4	ANGULO	ACERO 2x2x1/8 in	654	ASTM A-36
5	PLA TINA	ACERO 2x2x1/8 in	654	ASTM A-36
6	CONJUNTE	ACERO		ASTM A-36
7	ANGULO	ACERO 2x2x1/8 in	660	ASTM A-36
8	CONJUNTE GATO	ACERO		ASTM A-36
9	LAMINA	ACERO S/N 6 in	197x147	ASTM A-36
10	LAMINA	ACERO CAL 14	660x660	ASTM A-36



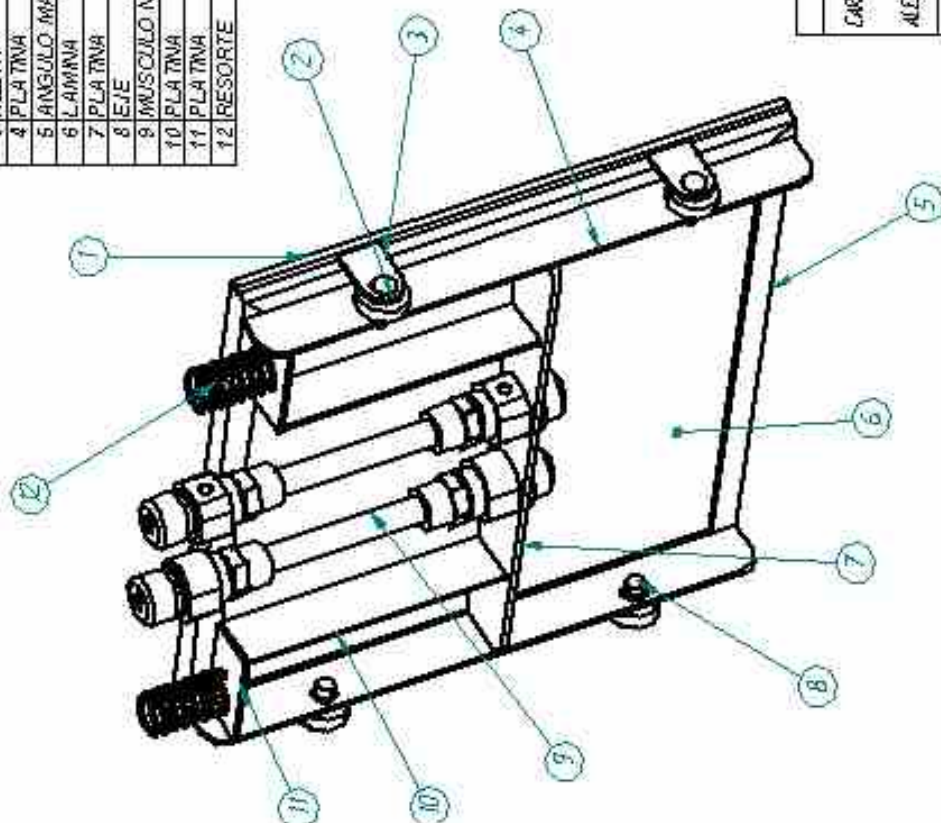
INVESTIGADORES	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SAN TANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y DEL PETROLIO
CARLOS F. BARALIAS PIEDRA			
ALEXANDER LOPEZ PRADA			
SISTEMA DE BUZAMIENTO			



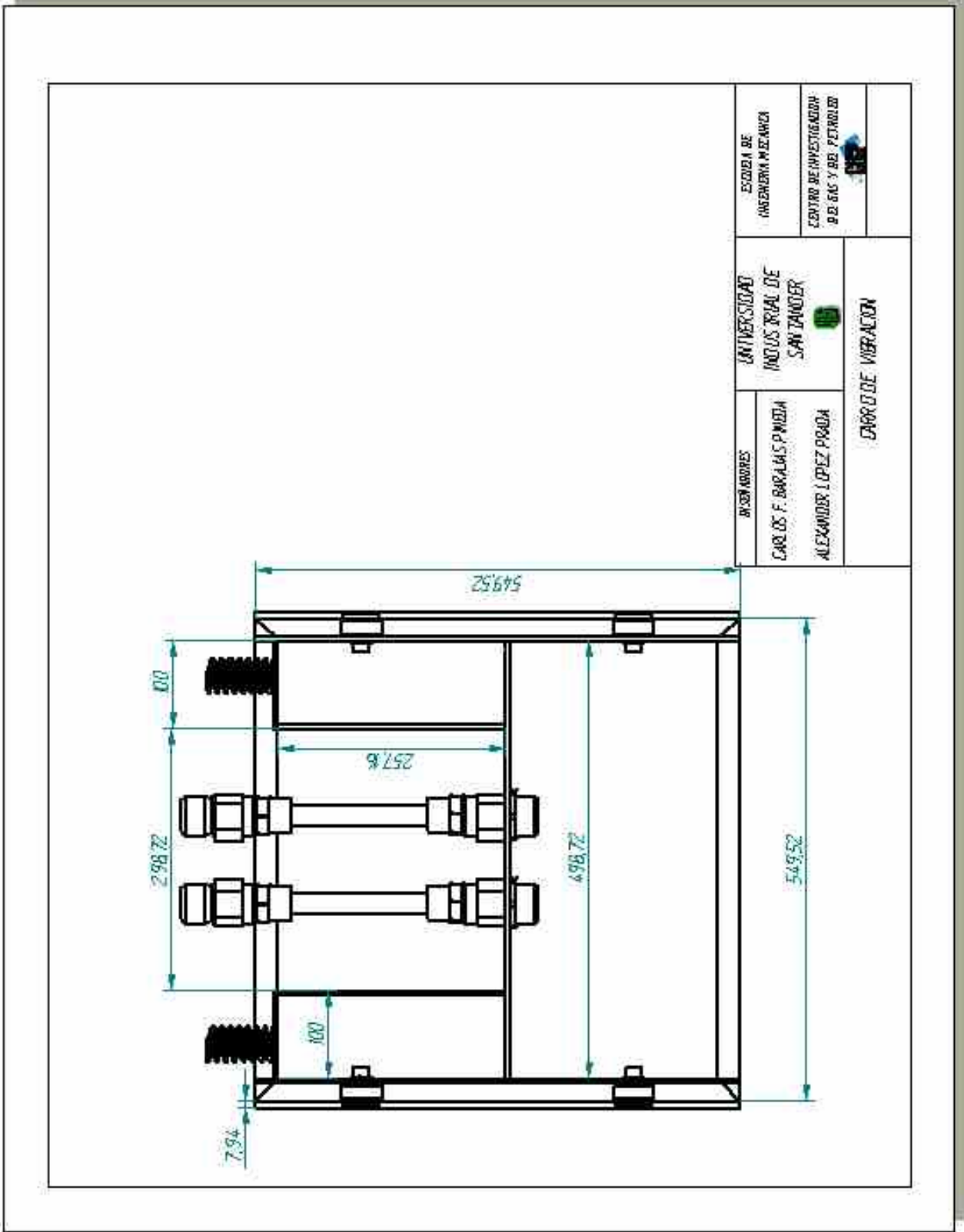
INSTRUMENTOS	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SAN TANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
		CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y DEL PETROLEO
CARLOS F. BARRALAS PINEIDA	CILINDRO DE BUCAMIENTO	
ALEXANDER LOPEZ PRADA		

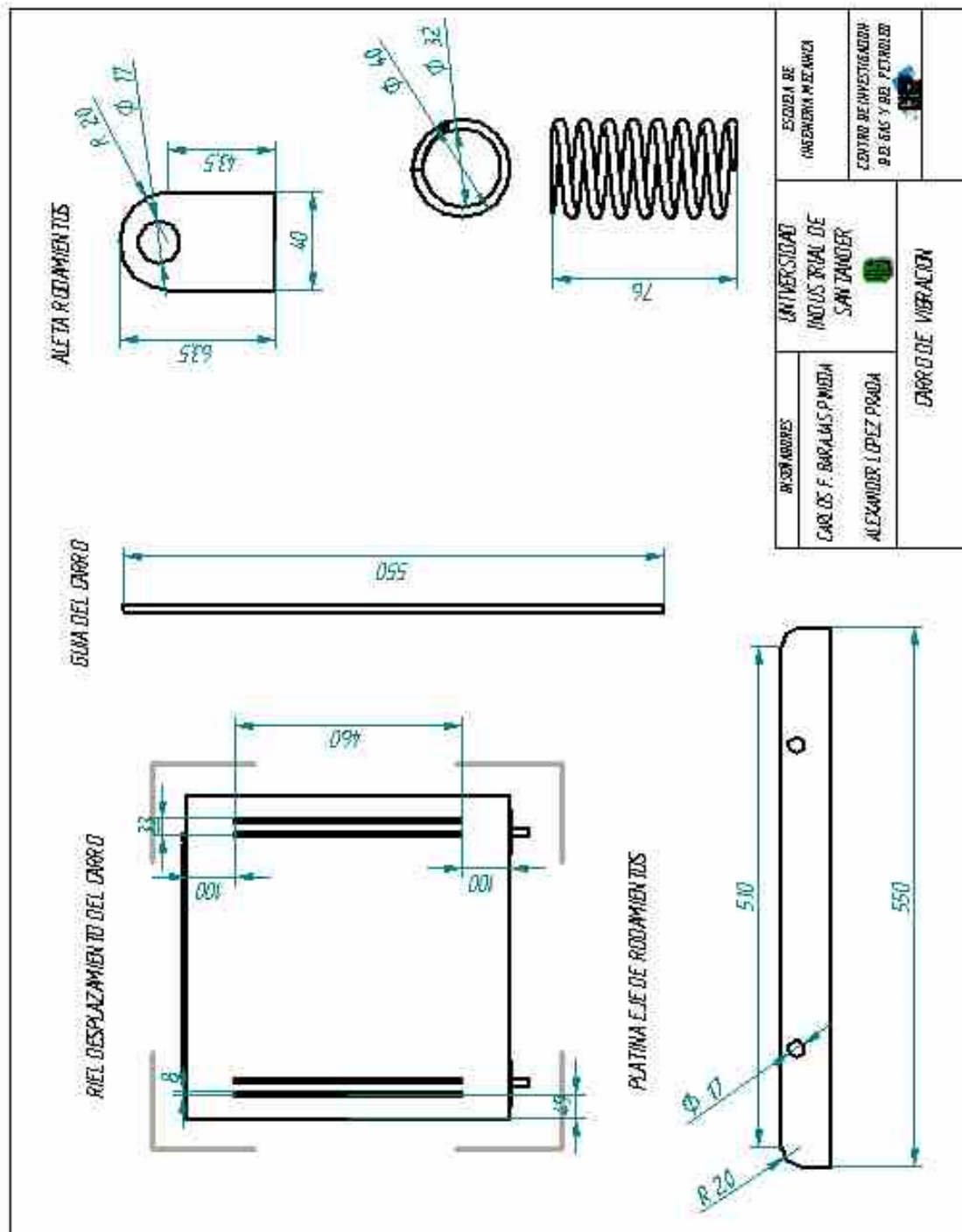


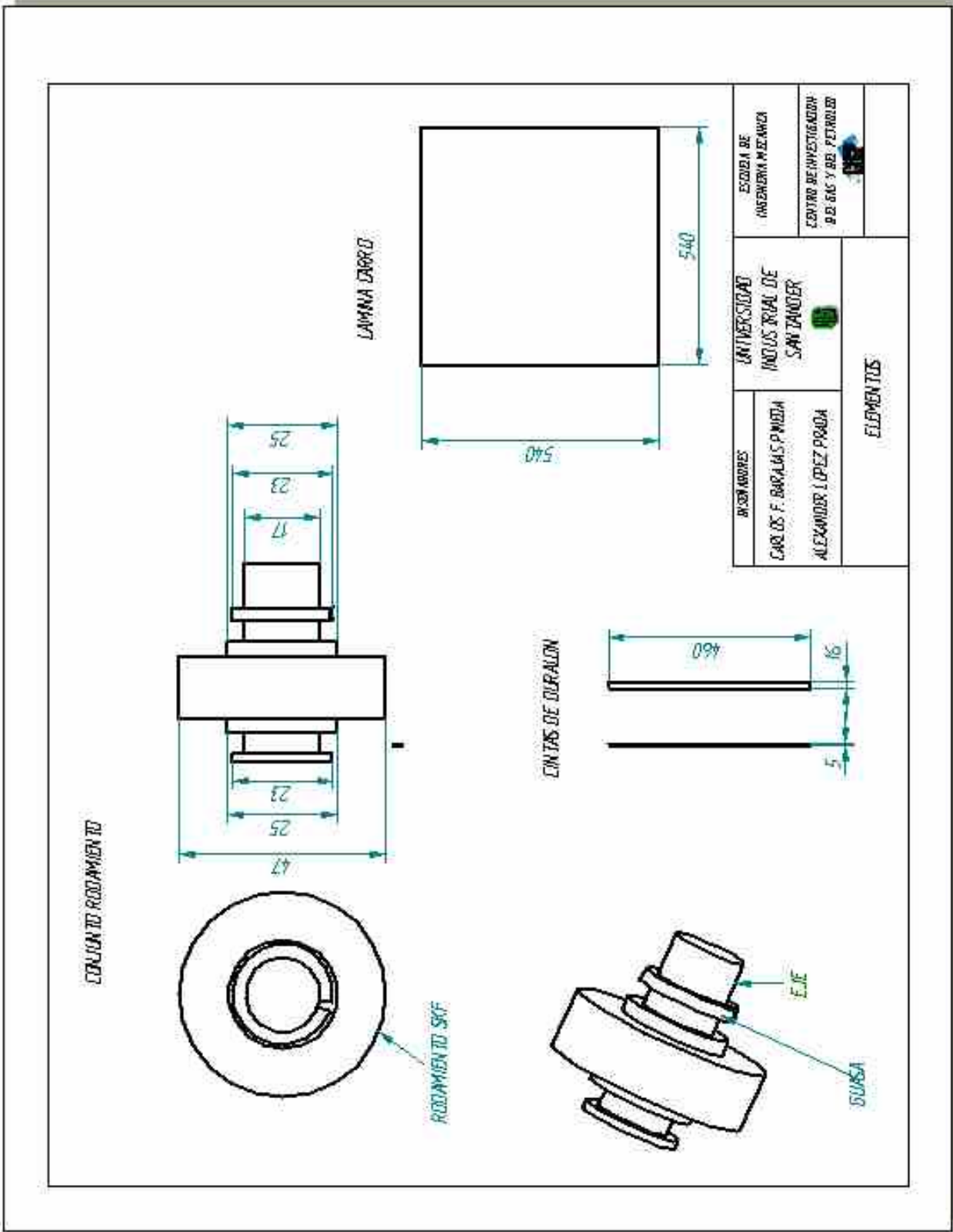
No	NOMBRE	MATERIAL	LONGITUD(mm)	NORMA
1	GUÍA	ACERO	550	ASTM A-36
2	RODAMIENTO	ACERO		
3	PALETA	ACERO 3/16 in	63.5	ASTM A-36
4	PLA TINA	ACERO 1/12X3/16 in	550	ASTM A-36
5	ANGULO MARCO	ACERO 1X1X3/16 in	540	ASTM A-36
6	LAMINA	ACERO CALIBRE 14	540X540	ASTM A-36
7	PLA TINA	ACERO 3/16 in	500X600	ASTM A-36
8	EJE	ACERO	45	ASTM A-36
9	MUSCULO NEUM.	ALUMINIO-CAUCHO	338	
10	PLA TINA	ACERO 2X3/16 in	257	ASTM A-36
11	PLA TINA	ACERO 2X3/16 in	100	ASTM A-36
12	RESORTE	ACERO	76	



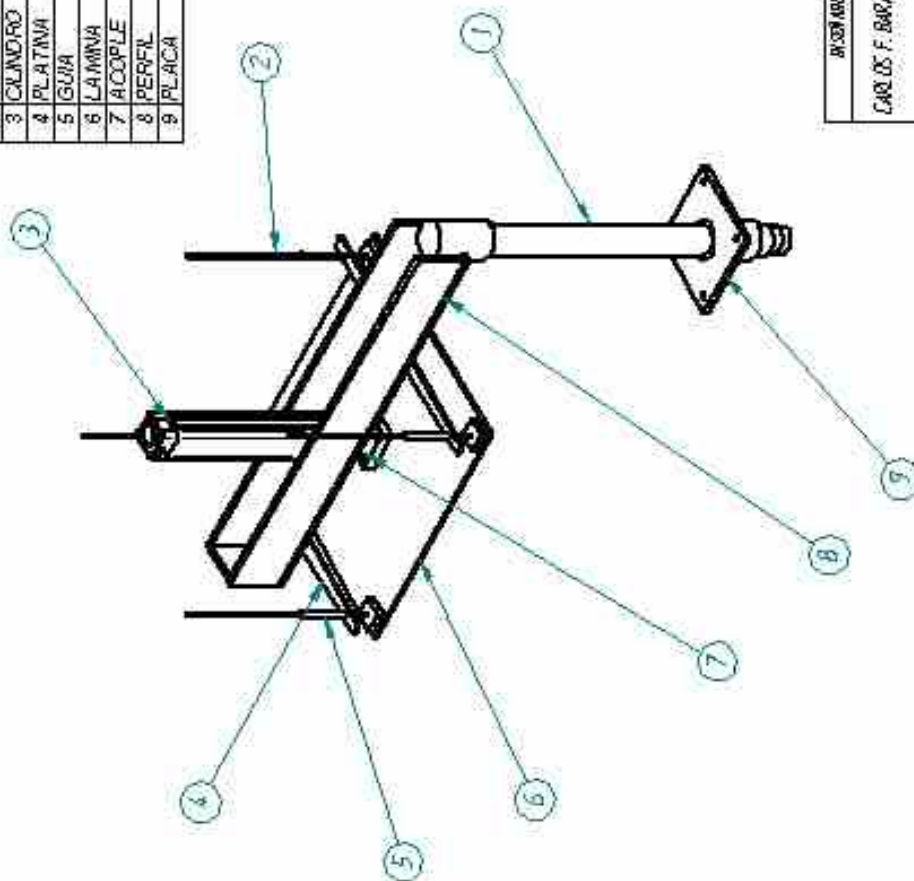
DISEÑADORES	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
CARLOS F. BARRALES PIEDRA		
ALEXANDER LOPEZ PRADA		
CENTRO DE INVESTIGACION DE GAS Y DE PETROLIO		
SISTEMA DE VIBRACION		



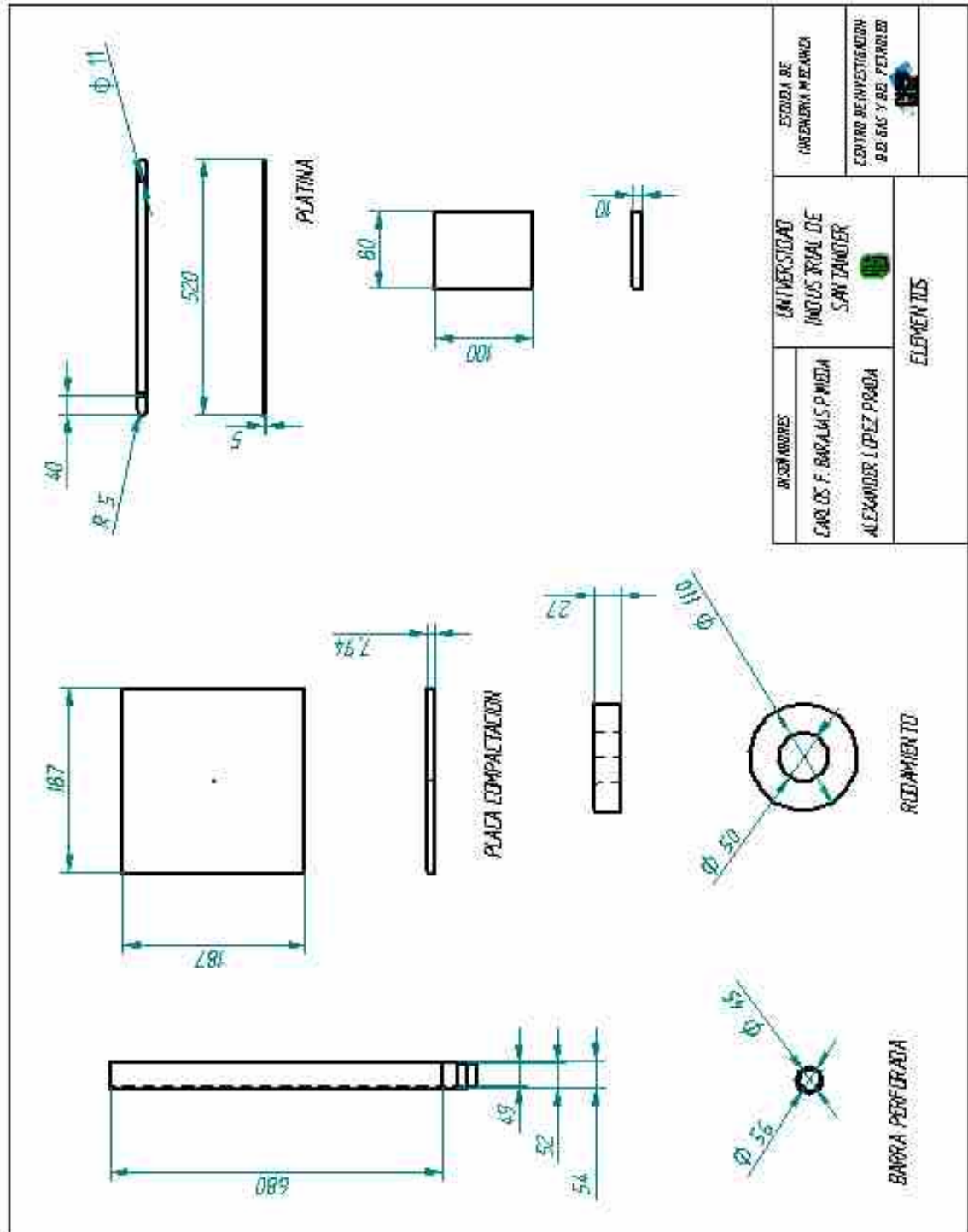


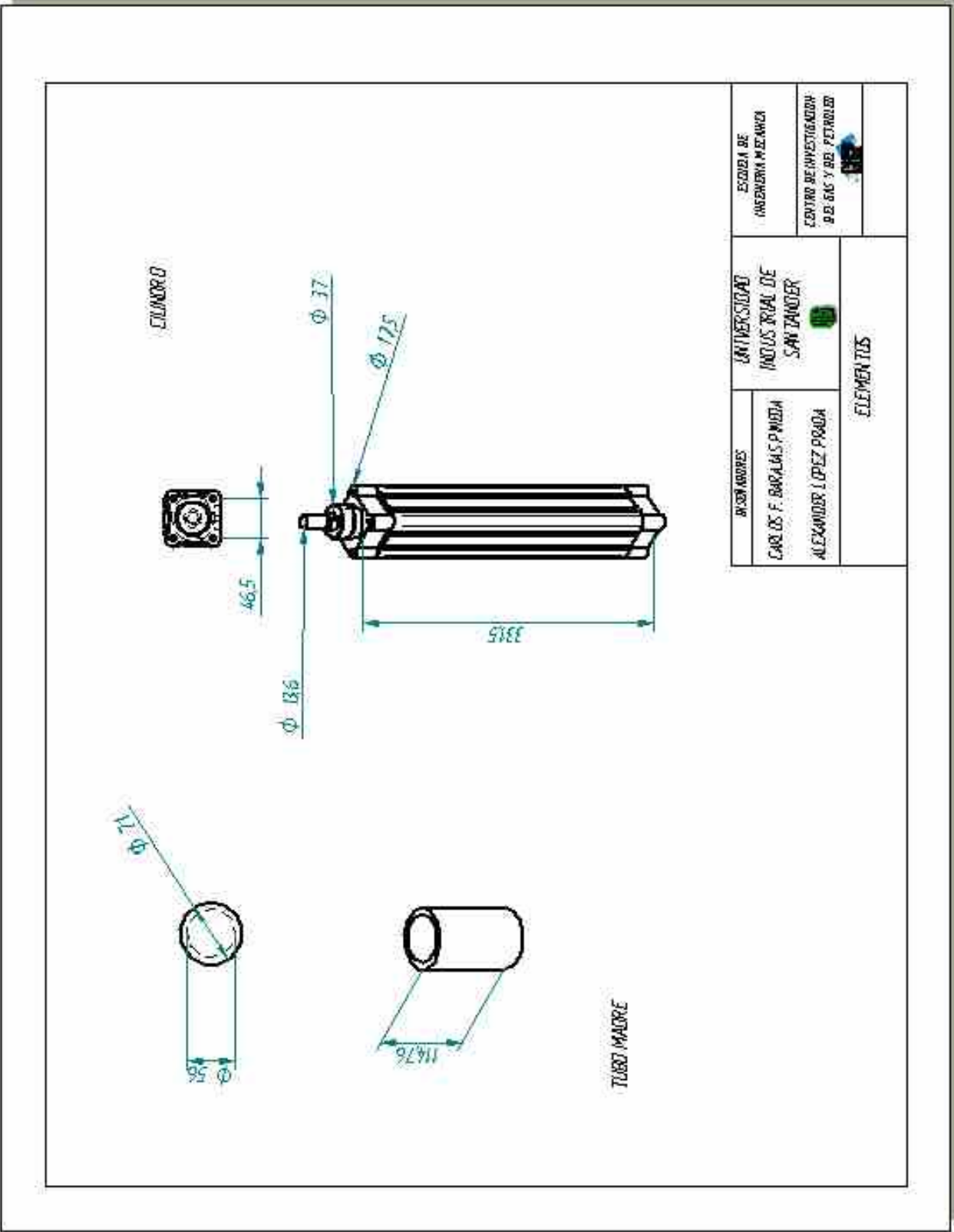


Nº	NOMBRE	MATERIAL	LONGITUD(mm)	NORMA
1	BARRA PERFORADA	ACERO	750	SAE 1518
2	VA RILLA	ACERO	400	A STM A-36
3	CILINDRO	ALUMINIO	300	ISO 6431
4	PLATINA	ACERO	520	A STM A-36
5	GUÍA	ACERO	100	A STM A-36
6	LAMINA	ACERO	486 X 486	A STM A-36
7	ACOPLE	ACERO	90 X 90	A STM A-36
8	PERFIL	ACERO	800	A STM A-36
9	PLACA	ACERO	180 X 180	A STM A-37

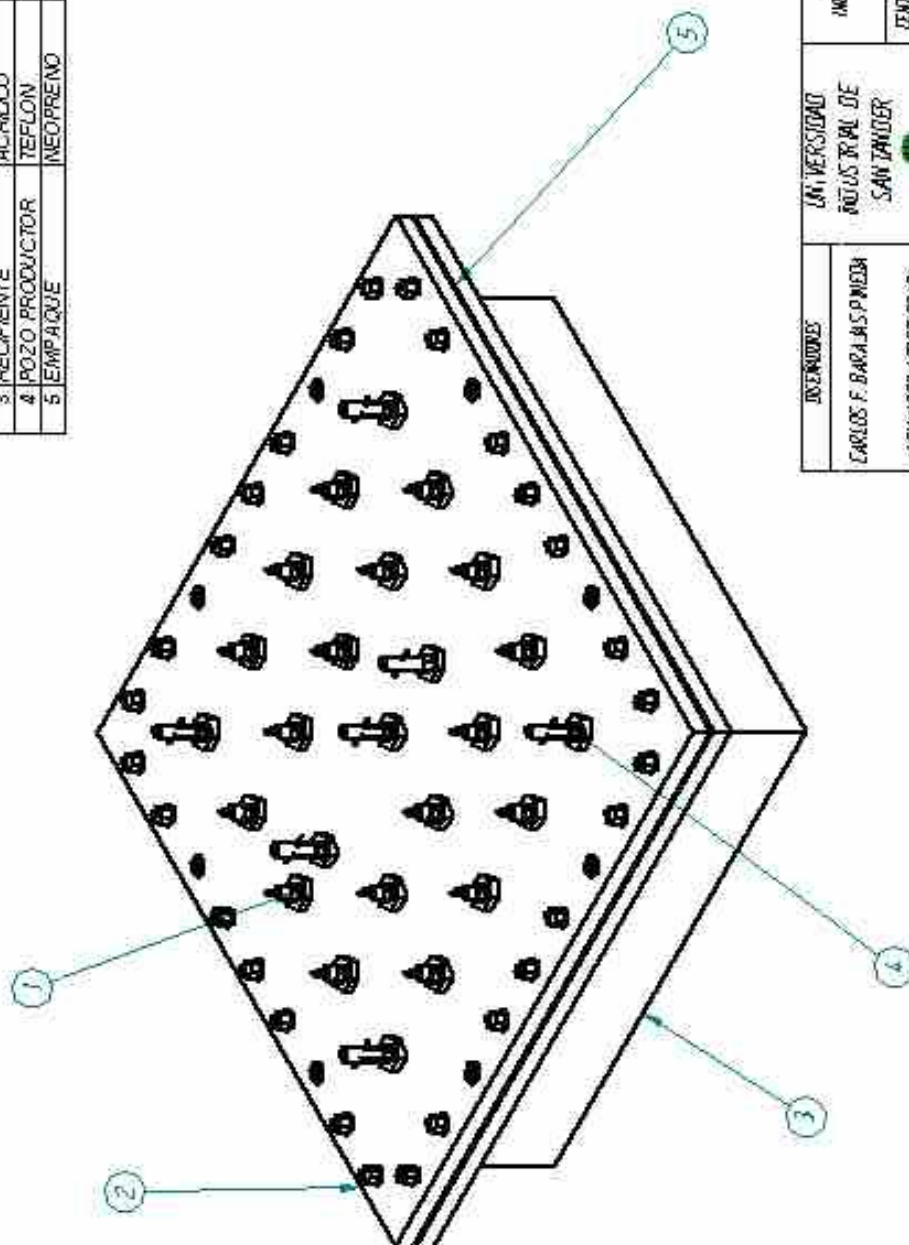


DISEÑADORES	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SAN LUIS	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	CENTRO DE INVESTIGACION 9 DE GAS Y DEL PETROLIO	
CARLOS F. BARALIAS PINOZA		IMPACTACION		
ALEXANDER LOPEZ PRADA				

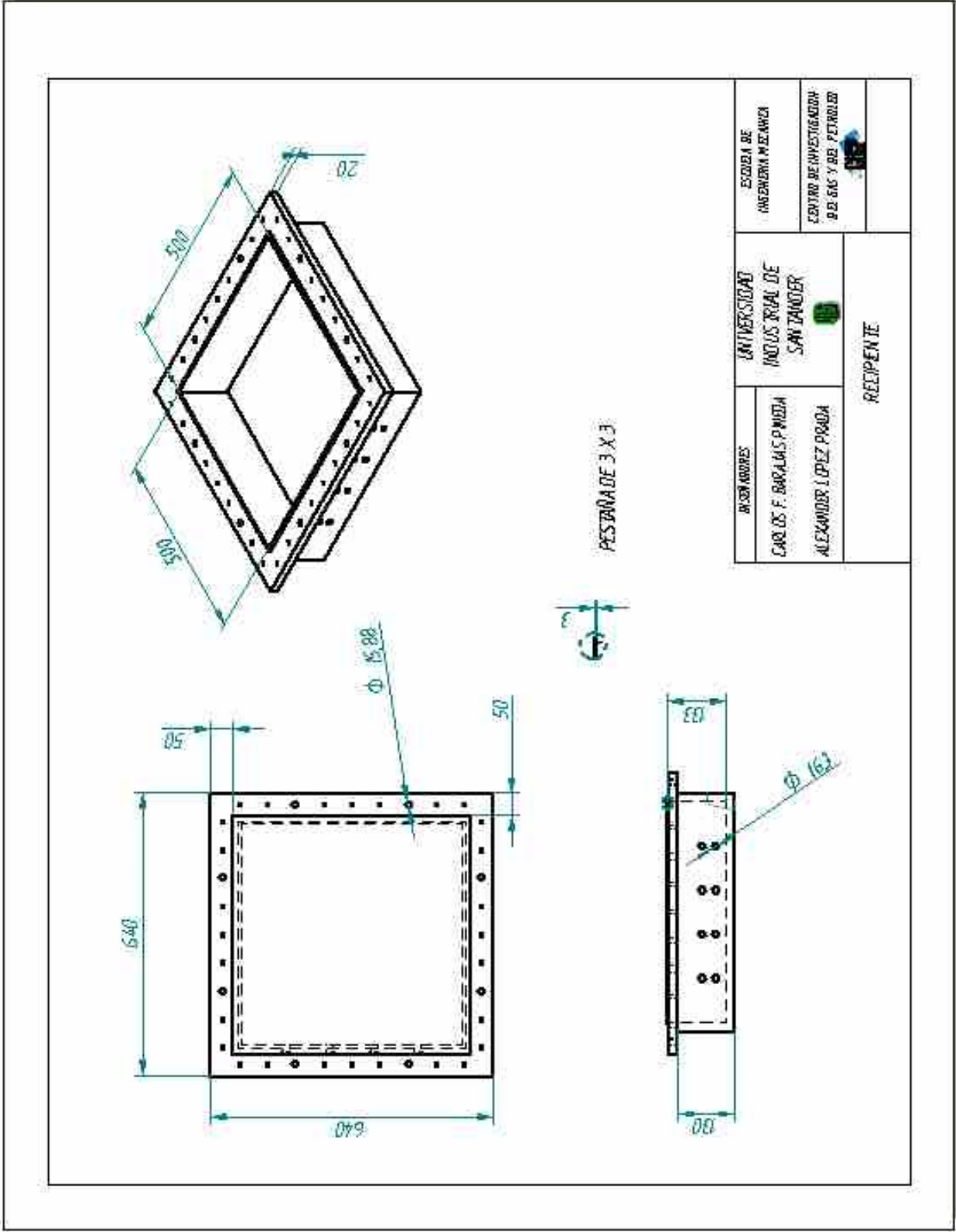


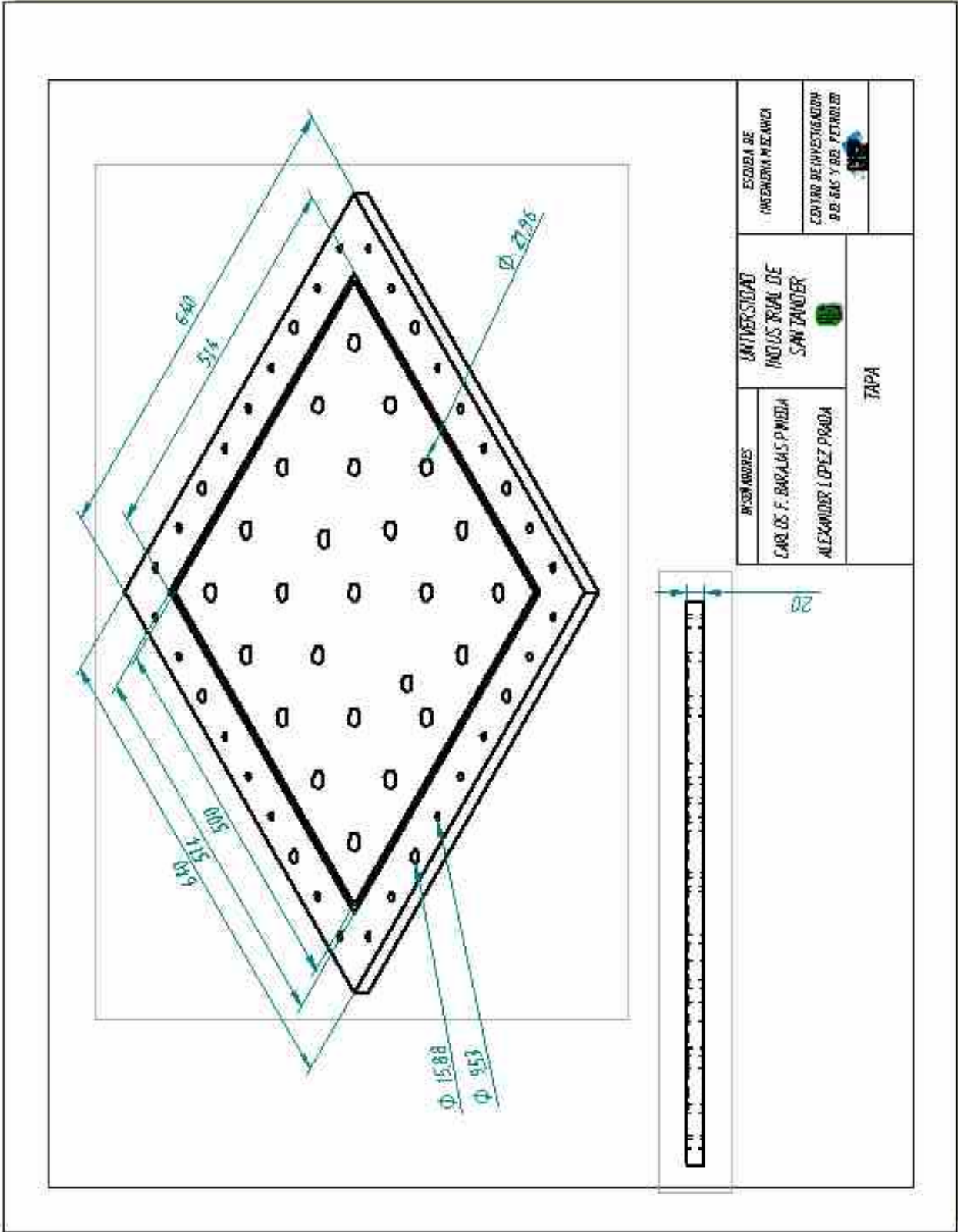


Nº	NOMBRE	MATERIAL	NORMA
1	POZO DE MEDICION	TEFLON	UNF-UNC
2	TORNILLO SUJECION	DURALON	UNC
3	RECIPIENTE	ACRILICO	UNC
4	POZO PRODUCTOR	TEFLON	UNF-UNC
5	EMPAQUE	NEOPRENO	

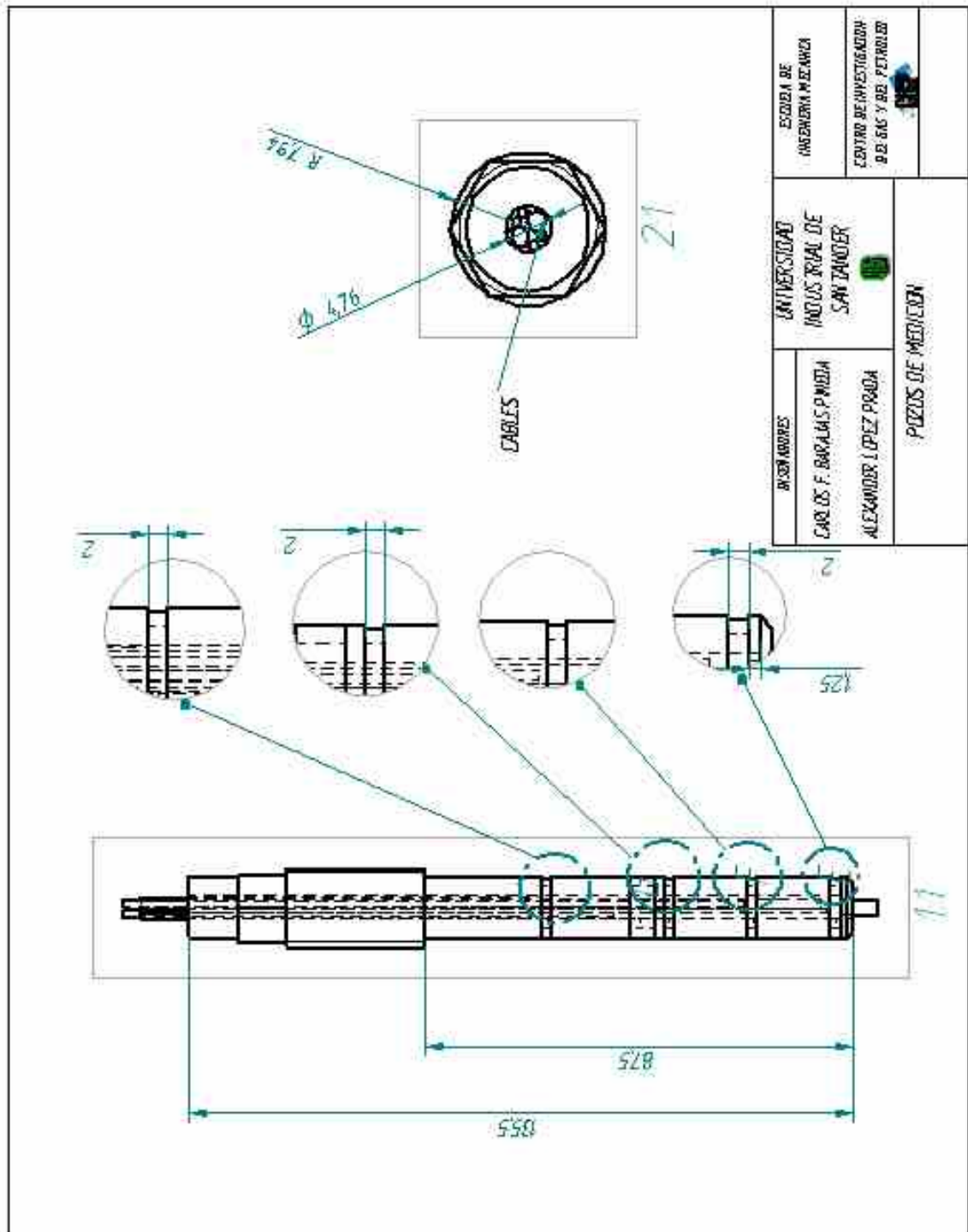


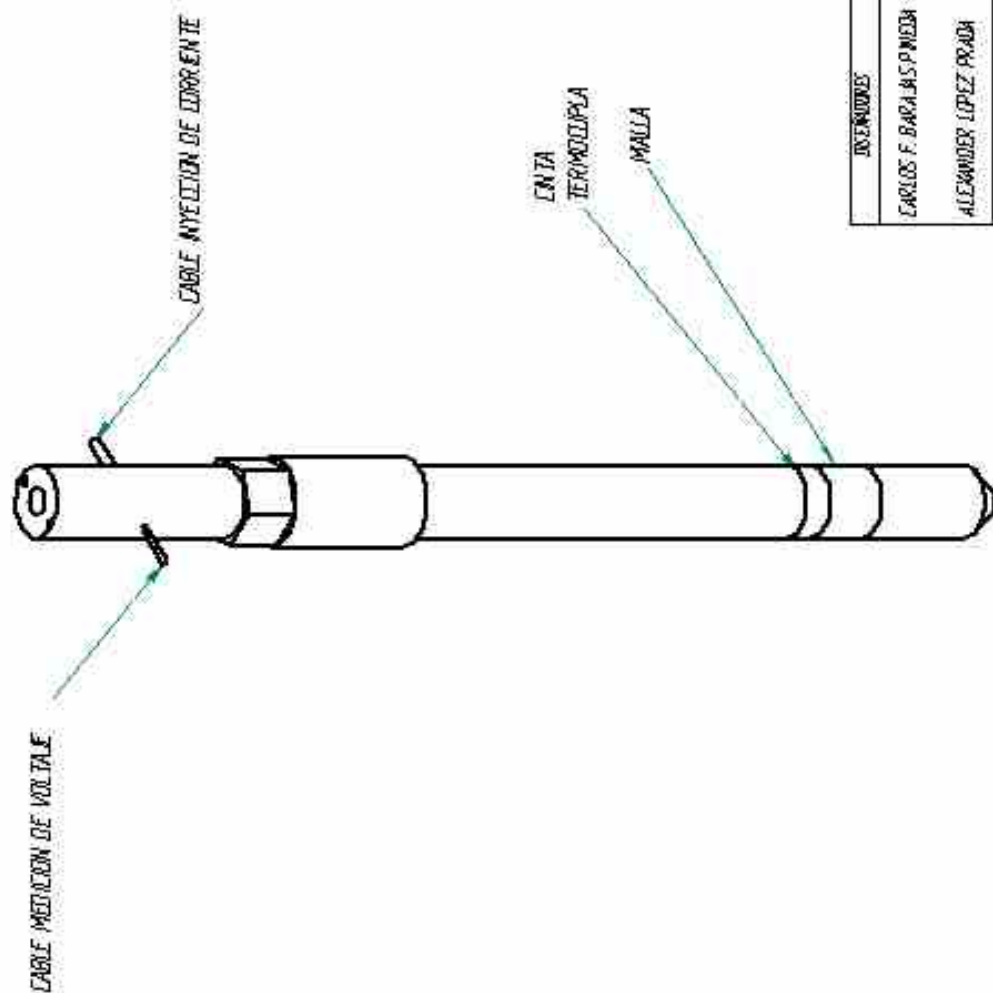
DOCENTES	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SAN JUAN	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
		CENTRO DE INVESTIGACION DEL SAG Y DEL PETRÓLEO
		
SIMULADOR ESCALADO		
CARLOS F. BARAJAS PINEDA		ALEXANDER LOPEZ PRADA



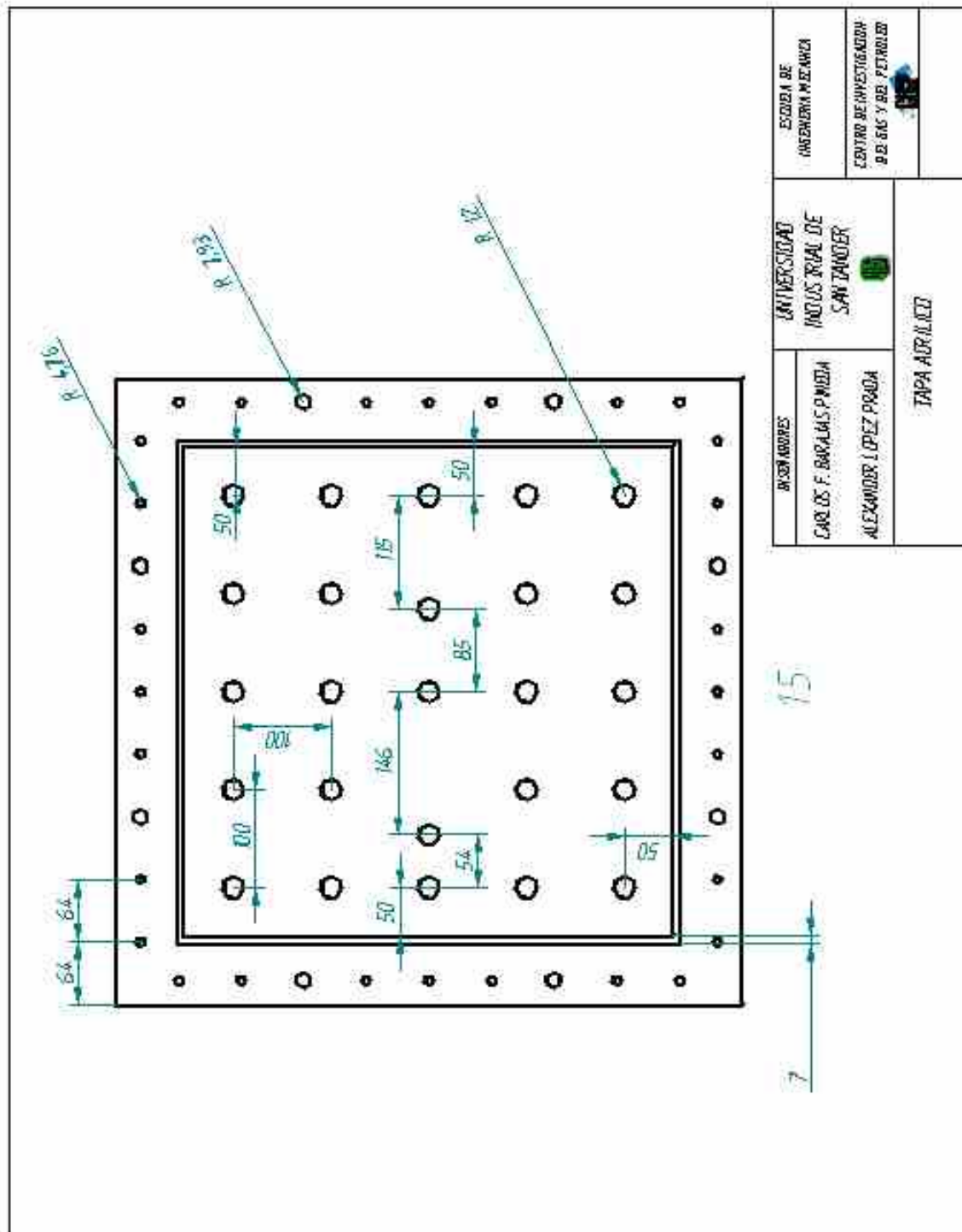




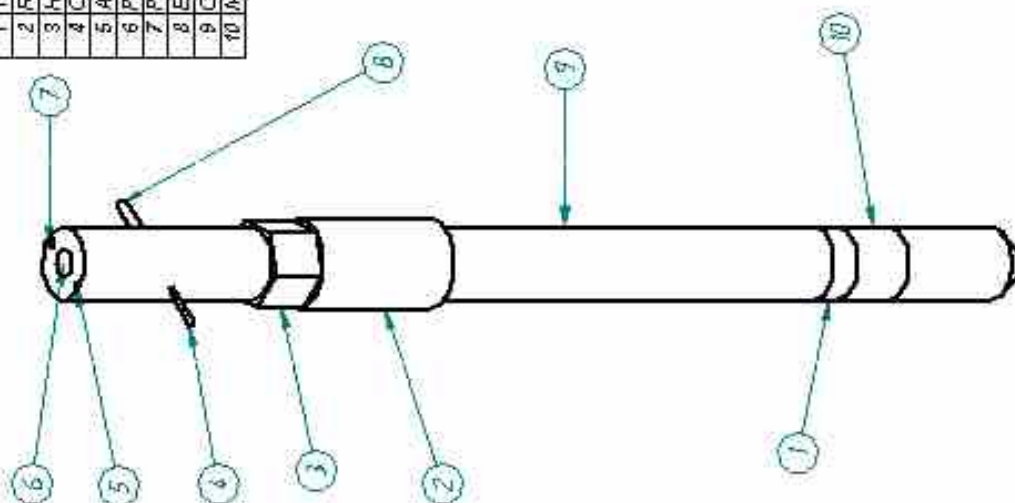




INGENIEROS	UNIVERSIDAD BOULSA DE SAN JUAN	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
		CENTRO DE INVESTIGACION DEL GAS Y DEL PETROLEO
CARLOS F. BACA LUSPIMBOA		PIZO PRODUCTOR-INYECTOR
ALEXANDER LOPEZ PRADA		

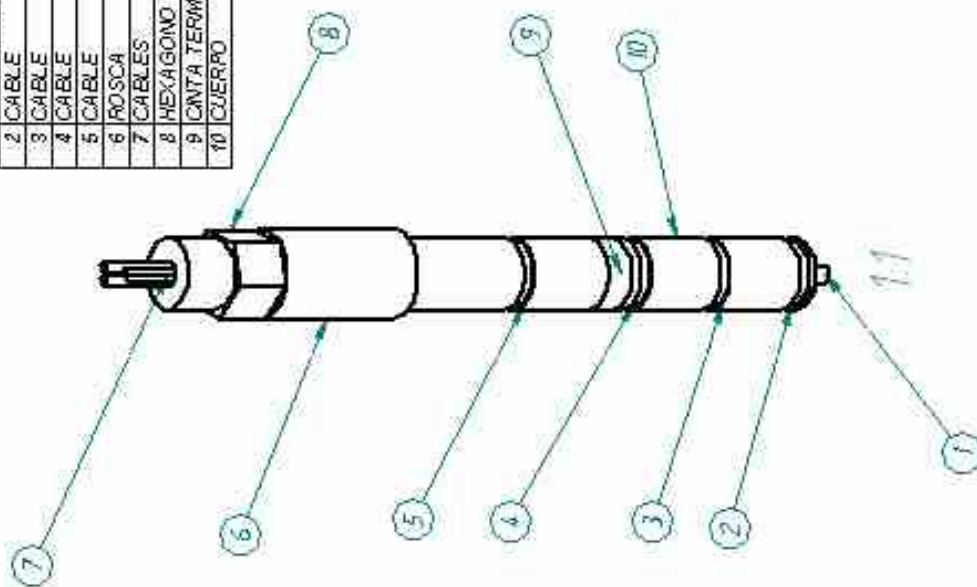


Nº	NOMBRE	DESCRIPCION	MATERIAL	NORMA
1	TERMOCUPLA	TIPO K	PELICULA DE POLIAMIDA	ANSI-MC96
2	ROSCA	5/8"	TEFLON	18- UNF
3	HEXAGONO	SUJECION PARA ROSCADO	TEFLON	
4	CABLE TERMOCUPLA	24 AWG-SOLDADO	POLIAMIDA	ANSI-MC96
5	AGUJERO	CABLE TERMOCUPLA		
6	PERFORACION	POZO PRODUCCION 1/4"		
7	PERFORACION	ELECTRODO		
8	ELECTRODO	CALIBRE 18 A WG	COBRE	ANSI-MC96
9	CUERPO	Dim 1/4" Dext 1/2"	TEFLON	
10	MALLA	MESH TYLER 200	ACERO 304	AFS



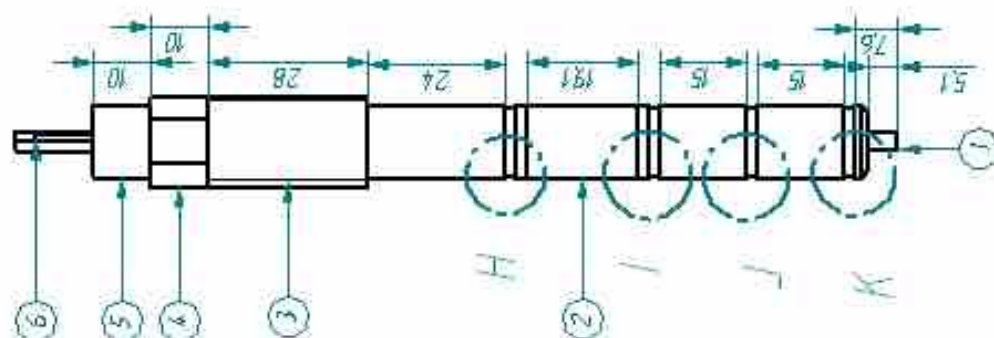
INTENDENTES	UNIVERSIDAD RODOLFO DE SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
CARLOS F. BARRAL ESPINOSA		
ALEXANDER LOPEZ PRADA		
POZO PRODUCTOR		CENTRO DE INVESTIGACION DEL GAS Y DEL PETROLEO

Nº	NOMBRE	TIPO K	DESCRIPCION	MATERIAL	NORMA
1	TERMOCUPLA			PLATINO-NIQUEL	ANSI-MC96
2	CABLE		COLOR VERDE UNIFILAR		
3	CABLE		COLOR ROJO UNIFILAR		
4	CABLE		COLOR AZUL UNIFILAR		
5	CABLE		COLOR AMARILLO UNIFILAR		
6	ROSCA	5/8"		TEFLON	18- UNF
7	CABLES	TOMA DE DATOS			
8	HEXAGONO	SUJECION PARA ROSCADO		TEFLON	
9	CINTA TERMOCUPLA	TIPO K		PELICULA DE POLIAMIDA	ANSI-MC96
10	CUERPO	Ø 1/8" Dex 1/2"		TEFLON	

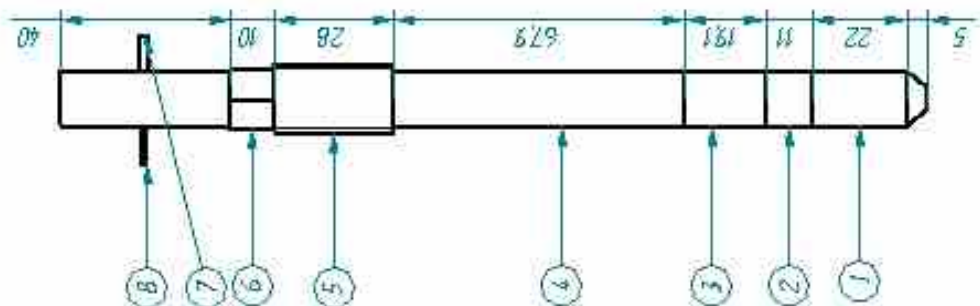


INGENIEROS	UNIVERSIDAD BOCOS BOAL DE SAN JUAN	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
		CENTRO DE INVESTACION DEL 546 Y DEL 547
CARLOS F. BARRAS PINEDA		PISO DE MEDICION
ALEXANDER LOPEZ PRADA		

Nº	NOMBRE	DESCRIPCION	MATERIAL	NORMA
1	TERMOCUPLA	TIPO K	PLATINO-NIQUEL	ANSI-MC98
2	CANTA TERMOCUPLA	TIPO K	POLIAMIDA	ANSI-MC98
3	ROSCA	5/8"	TEFLON	18- UNF
4	HEXAGONO	SUJECION ROSCADO	TEFLON	
5	CUERPO	Dim 1/4" Dex1/2"	TEFLON	
6	CABLES	TOMA DE DATOS		
7	CABLES	COLOR AMARILLO		
8	CABLES	COLOR AZUL		
9	CABLES	COLOR ROJO		
10	CABLES	COLOR VERDE		

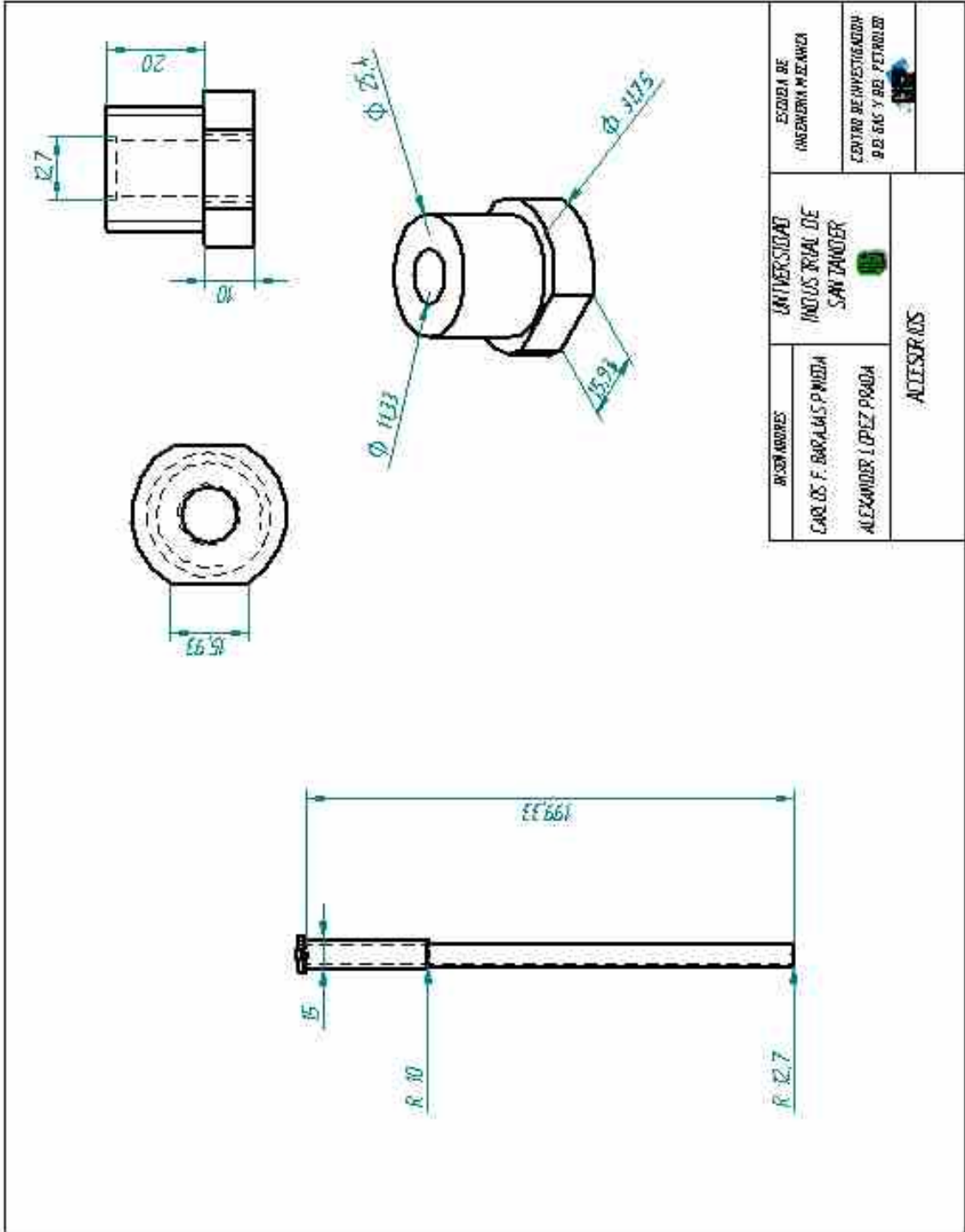


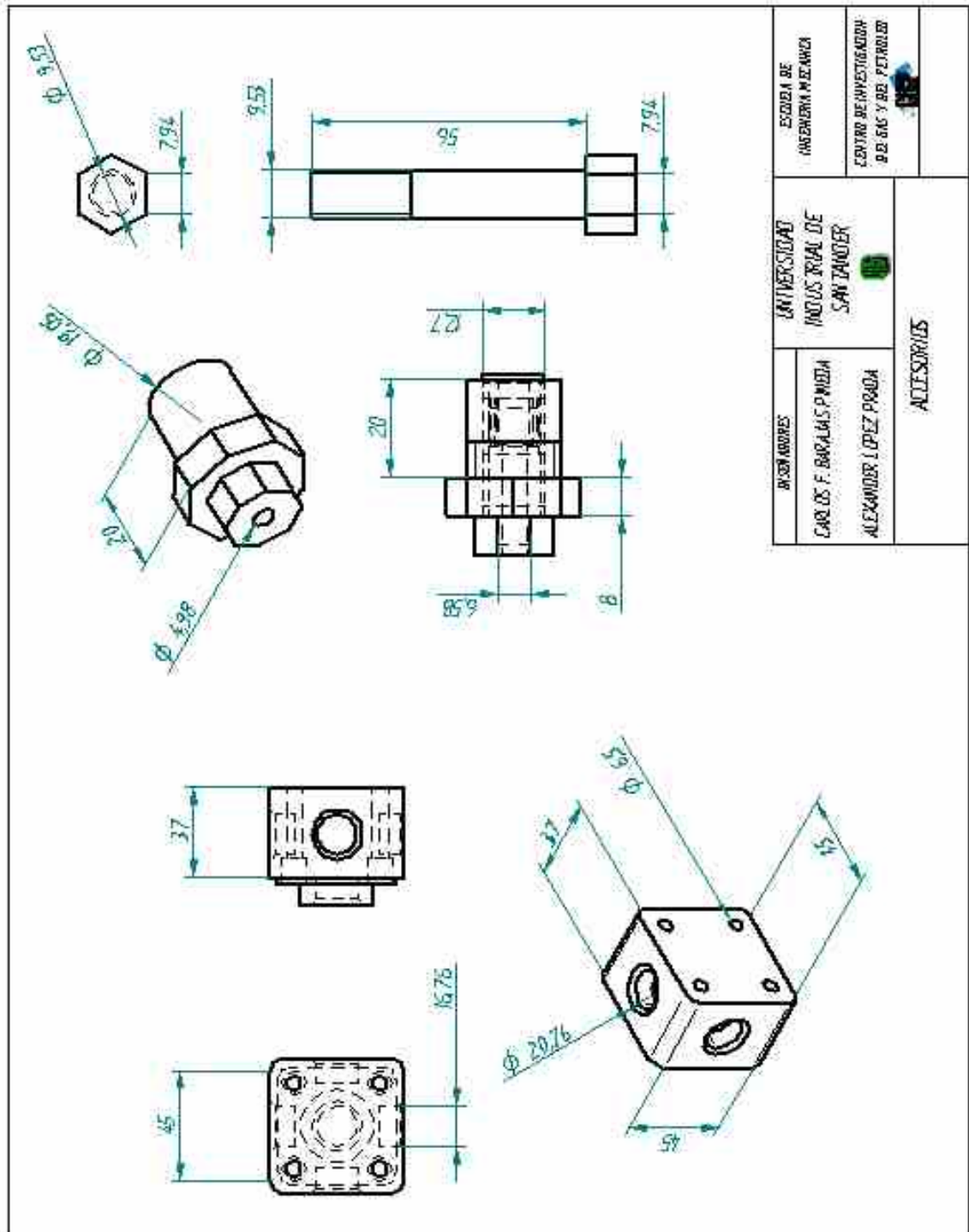
DOCENTES	UNIVERSIDAD POLITECNICA SANTANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
CARLOS F. BARRALOS PINEDA		
ALEXANDER LOPEZ PRADA		
PIEZO DE MEDICION		CENTRO DE INVESTIGACION DEL SAG Y DEL PETROLIO



No	NOMBRE	DESCRIPCION	MATERIAL	NORMA
1	CONO	Dn 1/8" Dex1/2"	TEFLON	
2	WALLA	MESH TYLER 200	ACERO 304	AFS
3	CANTA TERMOCUPLA	TIPO K	POLIAMIDA	ANSI-MC98
4	CUERPO	Dn 1/8" Dex1/2"	TEFLON	
5	ROSCA	5/8"	TEFLON	18- UNF
6	HEXAGONO	SUJECION ROSCADO	TEFLON	
7	ELECTRODO	CALIBRE 18 AWG	COBRE	ANSI-MC98
8	CABLE TERMOCUPLA	28 AWG-SOLIDO	POLIAMIDA	ANSI-MC98

INSTRUMENTOS	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN TANDER	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
CARLOS F. BARRAL S. PIEDRA ALEXANDER LOPEZ PRADA		CENTRO DE INVESTIGACION DEL GAS Y DEL PETROLEO
POZO INYECTOR PRODUCTOR		





ANEXO B. CATÁLOGO DE BOMBAS
(4 folios)

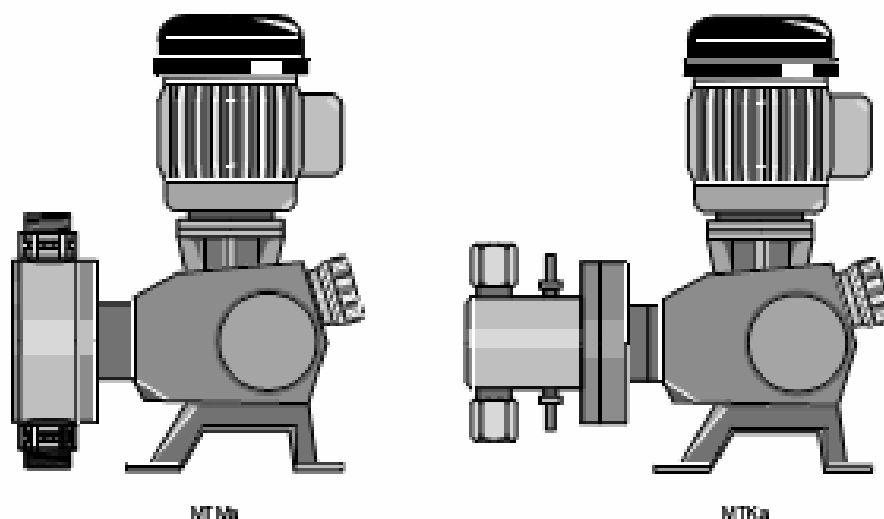


Operating Instructions

ProMinent® Meta

MTMa (Diaphragm Dosing Pumps)

MTKa (Piston Dosing Pumps)



MTMa

MTKa

Please affix device label here!

For safe and correct operation of ProMinent® Meta dosing pumps, two sets of Operating Instructions are required: The product-specific Meta Operating Instructions and ProMinent® motor-driven dosing pump Operating Instructions must be read together!

Please read the Operating Instructions through completely before commissioning this equipment. Do not discard! Any part which has been subject to misuse is excluded from the warranty!

3.2 MTKa Capacity Data

Pump Type	with 1500 rpm motor at 50 Hz				with 1500 rpm motor at 60 Hz				Suction Lift	Permissible Admission Pressure, Suction Side	Connection Suction/ Pressure Side	Motor Power Output	Shipping Weight
	Pump Capacity At Maximum Back Pressure	Max. Stroke Freq.	Max. Stroke Freq.	Pump Capacity At Maximum Back Pressure									
Identity code MTKa	bar	l/h	ml/stroke	strokes/min.	psi	l/hgph	strokes/min.	ml/hg	bar	Rp-DR	W	kg	
21000	21.6	6.1	1.42	72	3120	7.27 1.9	60	4		1/4	0.16	18	
24000	24.0	6.1	1.42	72	3437	7.27 1.9	60	4		1/4	0.27	20	
10500	10.2	6.1	1.42	60	2247	6.07 2.5	115	4		1/4	0.16	18	
20500	22.5	6.1	1.42	60	3200	6.07 2.5	115	4		1/4	0.27	20	
10910	10.9	10.2	1.42	120	1876	12.27 3.2	144	4		1/4	0.16	18	
21010	21.6	10.2	1.42	120	3130	12.27 3.2	144	4		1/4	0.27	20	
10912	10.9	12.2	1.42	144	1545	14.27 3.6	173	4		1/4	0.16	18	
21012	21.0	12.2	1.42	144	3048	14.27 3.6	173	4	approx. 50 % of max. perm. pressure	1/4	0.27	20	
10913	10.2	13.0	3.01	72	1476	15.67 4.0	60	4		1/4	0.16	18	
11013	11.3	13.0	3.01	72	1644	15.67 4.0	60	4		1/4	0.27	20	
00917	7.6	17.3	3.01	60	1109	20.67 5.4	115	4		1/4	0.16	18	
10917	10.6	17.3	3.01	60	1541	20.67 5.4	115	4		1/4	0.27	20	
00922	6.1	21.7	3.01	120	688	26.07 6.8	144	4		1/4	0.16	18	
10922	10.2	21.7	3.01	120	1476	26.07 6.8	144	4		1/4	0.27	20	
00926	5.1	26.0	3.01	144	740	31.27 8.2	173	4		1/4	0.16	18	
00926	6.6	26.0	3.01	144	1436	31.27 8.2	173	4		1/4	0.27	20	
00925	5.4	24.6	5.21	72	762	26.27 7.2	60	4		3/8	0.16	18	
00925	6.0	24.6	5.21	72	869	26.27 7.2	60	4		3/8	0.27	20	
04003	4.0	32.8	5.21	60	587	36.4710.3	115	4		3/8	0.16	18	
00933	5.6	32.8	5.21	60	615	36.4710.3	115	4		3/8	0.27	20	
00941	3.2	41.1	5.21	120	469	46.3715.9	144	4		3/8	0.16	18	
00941	5.4	41.1	5.21	120	762	46.3715.9	144	4		3/8	0.27	20	
00949	2.7	46.3	5.21	144	361	55.2715.6	173	4		3/8	0.16	18	
00949	5.2	46.3	5.21	144	761	55.2715.6	173	4	3/8	0.27	20		

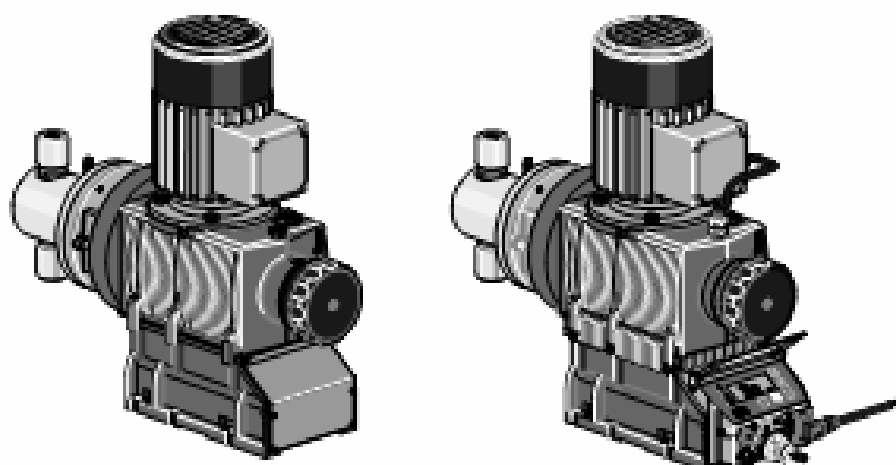
Materials In Contact With Chemicals

	Dosing Head	Suction/Discharge Connector	Seals	Valve Balls	Valve Seat	Pistons
SSIT	stainless steel No. 1.4571	stainless steel No. 1.4581	PTEE PTFE with graphite	oxide ceramic	stainless steel No. 1.4571	oxide ceramic



Notice technique

Pompe doseuse à piston Sigma/ 2 HK ProMinent®
S2Ba HK (type de base)
S2Ca HK (type Control)



Collez ici la plaquette signalétique !

L'utilisation s'effectue conformément à l'usage prévu des pompes doseuses à piston Sigma/ 2 HK S2Ba et S2Ca de ProMinent® nécessite les trois notices techniques :

cette "Notice technique de la pompe doseuse à piston Sigma/ 2 HK ProMinent®",

la "Notice technique de la Sigma/ 2 ProMinent®" et

la "Notice technique générale des pompes doseuses à moteur ProMinent® et de leurs accessoires hydrauliques";
et les sont uniquement valables toutes les trois ensemble !

Lisez d'abord complètement la notice technique ! Ne la jetez pas !

Les dommages occasionnés à des erreurs d'utilisation ne sont pas couverts par la garantie !

3 Caractéristiques techniques

3.1 Caractéristiques techniques de la Sigma/2 HK

3.1.1 Caractéristiques de capacité

Caractéristiques techniques de la Sigma en fonctionnement à 50 Hz:

	Débit de refoulement à contrepression max.			Fréquence d'impulsions à contrepression max.	Hauteur d'aspiration*	Pression d'alimentation admise côté aspiration	Raccordement côté aspiration / refoulement	Poids d'expédition
Type de pompe Sigma/ 2 HK	bar	l/h	ml/colonne	impulsions/ min.	m colonne d'eau	bar	Rp (pouces)	kg
32002	320	1,9	0,46	71	5	jusqu'à 50 % de la contrepression max. variable	1/4	24
23004	230	4,0	0,52	129	5		1/4	24
10006	100	6,4	0,55	155	5		1/4	24
14006	140	6,1	1,42	71	4		1/4	24
10011	100	11,0	1,43	129	4		1/4	24
05016	50	16,7	1,43	155	4		1/4	24
07012	70	12,4	2,90	71	4		1/4	24
04522	45	22,5	2,91	129	4		1/4	24
02534	25	34,1	2,92	155	4		1/4	24
04022	40	22,4	5,26	71	4		3/8	25
02541	25	41,5	5,37	129	4		3/8	25
01264	12	64,0	5,45	155	4		3/8	25

Caractéristiques techniques de la Sigma en fonctionnement à 60 Hz:

	Débit de refoulement à contrepression max.				Fréquence d'impulsions à contrepression max.	Hauteur d'aspiration*	Pression d'alimentation admise côté aspiration	Raccordement côté aspiration / refoulement	Poids d'expédition
Type de pompe Sigma/ 2 HK	bar	gal	l/h	gph	impulsions/ min.	m colonne d'eau	bar	Rp (pouces)	kg
32002	320	4627	2,3	0,6	84	5	jusqu'à 50 % de la contrepression max. variable	1/4	24
23004	230	3035	4,6	1,2	154	5		1/4	24
10006	100	1450	7,6	2,0	233	5		1/4	24
14006	140	2030	7,1	1,8	84	4		1/4	24
10011	100	1450	13,1	3,4	153	4		1/4	24
05016	50	725	20,0	5,3	233	4		1/4	24
07012	70	1015	14,8	3,9	85	4		1/4	24
04522	45	652	26,7	7,0	153	4		1/4	24
02534	25	563	40,8	10,76	233	4		1/4	24
04022	40	560	26,5	7,0	84	4		3/8	25
02541	25	363	49,2	13,0	153	4		3/8	25
01264	12	174	76,0	20,1	233	4		3/8	25

Ces données valent pour de l'eau à 20 °C.

* La hauteur d'aspiration a été déterminée pour l'eau, avec le module de refoulement et la conduite d'aspiration remplis – les sections de conduites d'aspiration étant suffisamment dimensionnées.

ANEXO C. CATÁLOGO SWAGELOK
(4 folios)

PFA Tube Fittings and PFA Tubing



- Temperatures from 70 to 400°F (20 to 204°C)
- Working pressures up to 275 psig (18.9 bar)
- Tube fitting sizes from 1/8 to 1/2 in.; tubing sizes from 1/8 to 1 in. and 6 to 12 mm

Swagelok

2 PFA Tube Fittings and Tubing

Features

- Audible click ensures tubing is inserted properly.
- Visual indication of proper pull-up:
 - no gap between body hex and hex nut
 - hex flat alignment
- Smooth, molded, internal wetted surfaces reduce potential for system contamination.
- Grooved tubing allows for higher working pressure.
- Wire-nut make-up avoids the potentially unsafe practices of hand make-up and disassembly.

Pressure-Temperature Ratings

Pressure ratings are for Swagelok® PFA tube fittings used with properly grooved Swagelok PFA tubing and for Swagelok PFA tubing used with metal Swagelok tube fittings. It is not necessary to groove tubing for use with metal fittings.

Fractional Tube Fittings and Tubing

Tubing Wall in.	Fittings and Tubing					Tubing	
	0.030	0.041	0.062				
Size, in.	1/8	1/4	1/4	3/8	1/2	3/4	1
Temperature °F (°C)	Working Pressure psi (g bar)						
70 (°C)	275 (18.9)	300 (20.7)	375 (26.2)	400 (27.6)	600 (41.4)	600 (41.4)	61 (4.2)
100 (°C)	245 (16.9)	180 (12.4)	285 (19.9)	125 (8.6)	125 (8.6)	75 (5.2)	58 (4.1)
200 (°C)	145 (10)	110 (7.6)	125 (8.6)	60 (4.1)	60 (4.1)	40 (2.8)	32 (2.2)
300 (°C)	87 (6)	68 (4.7)	87 (6)	40 (2.8)	32 (2.2)	19 (1.3)	13 (0.9)
400 (°C)	47 (3.2)	38 (2.6)	47 (3.2)	11 (0.76)	11 (0.76)	5.0 (0.34)	3.0 (0.2)

Materials

- Fittings—Molded PFA/ASTM D3307 Type I
- Tubing—PFA/ASTM D3307 Type II

Metric Tubing

Tubing Wall mm	1				1.5			
	6	8	10	12	6	8	10	12
	Working Pressure bar (psig)							
20 (2)	12 (1.7)	9.9 (0.7)	7.0 (0.5)	5.7 (0.4)	19 (1.4)	14 (1)	11 (0.8)	9.9 (0.7)
50 (5)	6.7 (0.4)	7.1 (0.5)	5.5 (0.4)	4.6 (0.3)	15 (1.1)	11 (0.8)	8.7 (0.6)	7.1 (0.5)
100 (10)	5.1 (0.3)	4.8 (0.3)	3.8 (0.3)	2.9 (0.2)	9.5 (0.7)	6.9 (0.5)	5.9 (0.4)	4.8 (0.3)
150 (15)	3.9 (0.3)	2.5 (0.2)	1.8 (0.1)	1.8 (0.1)	5.9 (0.4)	4.0 (0.3)	2.9 (0.2)	2.2 (0.1)
200 (20)	2.2 (0.2)	1.3 (0.1)	0.9 (0.07)	0.6 (0.04)	3.4 (0.2)	2.0 (0.1)	1.3 (0.1)	0.9 (0.07)

Ordering Information and Dimensions

Dimensions, in inches (millimeters), are for reference only and are subject to change. Dimensions shown with Swagelok nuts finger-tight. E dimensions refer to the minimum opening.

Unions



Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)			
		A	D	E	F
1/8	PR-620-6	1.45 (36.8)	0.50 (12.7)	0.09 (2.3)	1/2
1/4	PR-620-6	1.70 (43.2)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	5/8
3/8	PR-620-6	1.90 (48.3)	0.67 (17.0)	0.26 (6.6)	13/16
1/2	PR-620-6	2.05 (51.8)	0.90 (22.9)	0.41 (10.4)	1

Bulkhead Unions

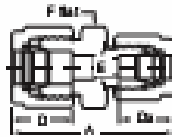


Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)				
		A	A2	D	E	F
1/8	PR-620-61	2.62 (66.5)	1.41 (35.8)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	7/8

Panel thickness is 0.70 in. (17.8 mm); maximum panel thickness is 0.85 in. (21.6 mm).

Swagelok

Reducing Unions



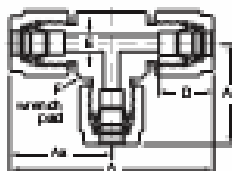
Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)				
		A	D	D2	E	F
3/8 to 1/8	PFA-820-6-6	1.77 (45.2)	0.67 (17.2)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	13/16
1/2 to 1/8	PFA-820-6-6	1.98 (50.4)	0.90 (22.9)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	1
1/2 to 3/8	PFA-820-6-6	1.98 (50.4)	0.90 (22.9)	0.67 (17.2)	0.28 (7.1)	1

Union Elbows



Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)			
		A	D	E	F
1/8	PFA-820-9	0.91 (23.1)	0.50 (12.7)	0.09 (2.3)	1/2
1/4	PFA-820-9	1.13 (28.7)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	5/8
3/8	PFA-820-9	1.29 (32.7)	0.67 (17.2)	0.28 (7.1)	13/16
1/2	PFA-820-9	1.45 (36.8)	0.90 (22.9)	0.41 (10.4)	1

Union Tees



Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)				
		A	A2	D	E	F
1/8	PFA-820-3	1.62 (41.3)	0.91 (23.1)	0.50 (12.7)	0.09 (2.3)	1/2
1/4	PFA-820-3	2.26 (57.4)	1.13 (28.7)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	5/8
3/8	PFA-820-3	2.60 (66.0)	1.29 (32.7)	0.67 (17.2)	0.28 (7.1)	13/16
1/2	PFA-820-3	2.90 (73.8)	1.45 (36.8)	0.90 (22.9)	0.41 (10.4)	1

Male Connectors



Tube Size in.	Pipe Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)			
			A	D	E	F
1/8	1/8	PFA-820-12	1.21 (30.7)	0.50 (12.7)	0.09 (2.3)	1/2
1/4	1/8	PFA-820-12	1.26 (32.0)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	5/8
	1/4	PFA-820-14	1.54 (39.1)			
3/8	1/4	PFA-820-14	1.60 (40.6)	0.67 (17.2)	0.28 (7.1)	13/16
	3/8	PFA-820-16				
1/2	3/8	PFA-820-16	1.74 (44.2)	0.90 (22.9)	0.41 (10.4)	1
	1/2	PFA-820-18	1.99 (50.5)			

Male Elbows



Tube Size in.	Pipe Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)				
			A	D	E	F	H
1/8	1/8	PFA-820-22	0.91 (23.1)	0.50 (12.7)	0.09 (2.3)	1/2	0.67 (17.2)
1/4	1/8	PFA-820-24	1.13 (28.7)	0.60 (15.2)	0.19 (4.8)	5/8	0.78 (19.8)
	1/4	PFA-820-24					0.90 (22.9)
3/8	1/4	PFA-820-24	1.29 (32.7)	0.67 (17.2)	0.28 (7.1)	13/16	1.08 (27.4)
	3/8	PFA-820-24					1.14 (29.0)
1/2	3/8	PFA-820-24	1.45 (36.8)	0.90 (22.9)	0.41 (10.4)	1	1.14 (29.0)
	1/2	PFA-820-24					1.28 (32.5)

Swagelok

Nuts



Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions in. (mm)	
		G	L
1/8	PFA-622-#8	1/2	0.27 (6.9)
1/8	PFA-622-1	5/8	0.05 (1.3)
3/8	PFA-622-1	13/16	0.09 (2.3)
1/2	PFA-622-1	1	0.19 (4.8)

② 1/8 in. back ferrule integral with nut.

Plugs



Tube Size in.	Ordering Number
1/8	PFA-620-P
1/8	PFA-620-P
3/8	PFA-620-P
1/2	PFA-620-P

Back Ferrules



Tube Size in.	Ordering Number
1/8	PFA-624-1
3/8	PFA-624-1
1/2	PFA-624-1

② 1/8 in. back ferrule integral with nut.

Front Ferrules



Tube Size in.	Ordering Number
1/8	T-622-#8
1/8	PFA-622-1
3/8	PFA-622-1
1/2	PFA-622-1

② PFA material.

Caps



Tube Size in.	Ordering Number	Dimensions, in. (mm)		
		A	D	F
1/8	PFA-620-C	0.88 (22.1)	0.50 (12.7)	1/2
1/8	PFA-620-C	0.88 (22.1)	0.60 (15.2)	5/8
3/8	PFA-620-C	1.08 (27.4)	0.67 (17.0)	13/16
1/2	PFA-620-C	1.18 (30.0)	0.80 (20.3)	1

PFA Tubing

Nominal Size	Ordering Number	Nominal Wall Thickness	Length
Dimensions		in.	ft (m)
1/8	PFA-T2-030-100	0.030	100 (30.5)
	PFA-T2-030-200		200 (61.0)
1/8	PFA-T4-037-100	0.037	100 (30.5)
	PFA-T4-037-200	0.037	200 (61.0)
3/8	PFA-T6-052-50	0.052	50 (15.2)
	PFA-T6-052-100		100 (30.5)
1/2	PFA-T8-062-50	0.062	50 (15.2)
	PFA-T8-062-100		100 (30.5)
3/4	PFA-T12-062-50	0.062	50 (15.2)
1	PFA-T16-062-50	0.062	50 (15.2)
Dimensions		mm	m (ft)
6	PFA-T6M-1M-30M	1.0	30 (9.1)
	PFA-T6M-1.5M-30M	1.5	
8	PFA-T8M-1M-30M	1.0	
	PFA-T8M-1.5M-30M	1.5	
10	PFA-T10M-1M-30M	1.0	
	PFA-T10M-1.5M-30M	1.5	
12	PFA-T12M-1M-30M	1.0	
	PFA-T12M-1.5M-30M	1.5	

High-purity PFA tubing with low extractables is available in other wall thicknesses, sizes, and lengths. Contact your authorized Swagelok sales and service representatives.

Safe Product Selection

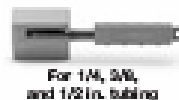
When selecting a product, the total system design must be considered to ensure safe, trouble-free performance. Function, material compatibility, adequate ratings, proper installation, operation, and maintenance are the responsibilities of the system designer and user.

Caution: Do not mix or interchange parts with those of other manufacturers.

Accessories

Groove Cutters

Groove PFA tubing for use with Swagelok PFA tube fittings.



For 1/8, 3/8, and 1/2 in. tubing



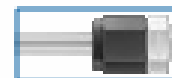
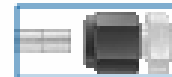
For 1/4 in. tubing

Tube Size in.	Ordering Number
1/8	NS-GC-2
1/4	NS-GC-4
3/8	NS-GC-6
1/2	NS-GC-8

Installation

⚠ PFA tubing **MUST** be grooved for use with PFA tube fittings. Use the Swagelok groove cutter tool.

1. Insert grooved PFA tubing into the Swagelok PFA tube fitting until a clicking sound is heard.
2. While holding fitting body steady, tighten the blue nut until there is no gap between the nut and body hexes.
3. Continue tightening until the nut and body hexes are aligned.



Warranty Information

Swagelok products are backed by The Swagelok Limited Lifetime Warranty. For a copy, visit swagelok.com or contact your authorized Swagelok representative.

Swagelok®—The Swagelok Connection
© 2024, 2018 Swagelok Corporation
Printed in U.S.A., (51)
Details: 2024, PG
US-414-0

ANEXO D. SENSOR DE PRESIÓN
(2 folios)

2 Type overview

	VEGABAR 52	VEGABAR 53
		
Measuring cell	CORTEC®	Piezoresistive DMS
Diaphragm	Ceramic	Metall
Process	Gases, vapours and liquids	Gases, vapours and liquids, also viscous
Process fitting	Manometer connection G $\frac{1}{2}$ A or M20 x 1.5, auto. lock N 523, connection G $\frac{1}{2}$ A inner G $\frac{1}{2}$ A, $\frac{1}{2}$ NPT inner $\frac{1}{2}$ NPT	Manometer connection G $\frac{1}{2}$ A or $\frac{1}{2}$ NPT, connection G $\frac{1}{2}$ A or G $\frac{1}{2}$ A flush, hygienic fitting
Material	316L, Hastelloy C 276, PVDF	316Ti, Digilloy 2.43711
Measuring range	-1 ... 0 bar up to 0 ... 60 bar (-14.5 ... 0 psi up to 0 ... 870 psi)	-1 ... 0 bar up to 0 ... 60 bar (-14.5 ... 0 bar up to 0 ... 870 psi)
Process temperature	-80 ... +120 °C (-40 ... +248 °F)	-40 ... +150 °C (-40 ... +302 °F)
Deviation in characteristic	±0.05 %	±0.1 %
Signal output	4 ... 20 mA HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus	4 ... 20 mA HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus
Connections	Housing with terminals IP 66/P 67, housings with cable gland IP 66/P 68 1 bar, IP 68 housings with direct cable outlet	Housings with terminals IP 66/P 67, housing with cable gland IP 66/P 68 1 bar, IP 68 housing with direct cable outlet
Adjustment/indication	PLUGSCOPE	PLUGSCOPE
Remote adjustment/indication	VEGAD 5 61	VEGAD 5 61
Functional safety	up to SIL 2	-

58026-01-16-000011

**ANEXO E. CATÁLOGO DE SENSORES DE
TEMPERATURA
(2 folios)**

Miniature Sensors

Embedment Thermocouples

Lead wire	 Case style A Case L: 0.250" (6.4 mm) Case Ø: 0.275" (7.0 mm)		 Case style B Case L: 0.250" (6.4 mm) Case Ø: 0.188" (4.8 mm) Range Ø: 0.250" (6.4 mm)		 Case style C Case L: 0.300" (7.6 mm) Case Ø: 0.150" (3.8 mm)		 Case style D Case L: 0.300" (7.6 mm) Case Ø: 0.080" (2.0 mm)	
	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
AWG 30 stranded	TC311	TC312	TC333					
AWG 24 stranded	TC212	TC203	TC204	TC205	TC344	TC253		
AWG 24 stranded with single SS braid over both wire pairs		TC256		TC250		TC257		
AWG 30 solid							TC341	

Install miniature thermocouples in or beneath the babbitt layer of bearing shells. They monitor metal temperature — the most reliable indicator of bearing condition — to give early warning of oil film breakdown. Machines can then be shut down and the problem corrected before catastrophic failure occurs.

These thermocouples are mechanically interchangeable with the RTDs on the previous page.

Specifications

Temperature range:
-184 to 260°C (-300 to 500°F)
Copper-Constantan (Type T):
AWG 24 200°C (392°F) max/min.
AWG 30 150°C (302°F) max/min.
Time constant: Typical value in moving water:
Grounded junction: 0.3 seconds.
Ungrounded junction: 6 seconds (case style A) to 1 second (case style C).
Insulation resistance: 10 megohms min. at 100 VDC, leads to case, ungrounded junction only.
Case: Tin plated copper alloy.
Babbitt tip: Factory applied babbitt tip, available on case styles A and B, reduces the danger of overheating the sensor when installed in babbitt layer.
Leads: Thermocouple wire; see table for sizes and options. Dual element models with AWG 24 stranded leads are available with a single stainless steel braid over all four wires. This option is recommended for use with integral leadthroughs. See inset below for details.

How to order

TC311	Model number from table
E	Junction type: E = Chromel-Constantan J = Iron-Constantan K = Chromel-Ni/niel T = Copper-Constantan
U	Junction grounding: G = Grounded U = Ungrounded
24	Lead length in inches
T	Covering over leadwires: T = PTFE only S = Stainless steel overbraid
	(Stop here for case style C or D; no babbitt option)
BD	Optional babbitt tip: BD = No babbitt metal BT = Babbitt metal applied

TC311EU24TBD — Sample P/N

▲ Single SS braid over both wire pairs is preferred with integral leadthroughs.

Stop Oil Seepage!

Feedthroughs provide an oil tight seal where a cable exits a machine housing. The stainless steel tube is epoxy filled and each wire is sealed to the individual conductor. This prevents wicking of oil inside the wires as well as leakage around the wire insulation. Pressure rating to 25 psi (1.7 bar.) See page 4-11 for details.

Leadwire and cable seal models PG1015 and PG3015 seal RTD or thermocouple leadwires where they exit oil-filled bearing housings of rotating equipment. Both versions include a grommet that provides the seal and allows adjustment of the wire or cable position. See page 4-12 for details.

Elastomer/rubber-filled cable model AC100324 is a sensor cable with elastomer fill between the wires, stainless steel braid, and outer jacket. This fill can extend along the entire length of the cable, or a specified portion. The outside of the cable can be sealed with an PG1015 or PG3015 fitting. See page 4-13 for details.

Request Application Aid #27 for discussion on the problems of oil seepage and various solutions.

Thermal-Ribbons

Thermistor and Thermocouple Thermal-Ribbons

Thermistor Thermal-Ribbon

Dimensions W x L x T (max.)	Element options	Insulation	Temp. range	Lead wires	Time constant*	Features	Model
0.20 x 0.47 x 0.015" (5.0 x 12.0 x 3.0 mm)	TF, TK	Kapton with silicone cover coat	-60 to 125°C (-68 to 257°F)	AWG 26, PTFE insulated	0.8 sec.	Small, low-cost	TS65
0.20 x 0.60 x 0.118" (5.0 x 15.2 x 3.0 mm)		Silicone rubber with silicone cover and tal coating		AWG 24, Silicone insulated	1.3 sec.	Waterproof, suitable for continuous immersion	TS67

* In water at 1 m/sec.

Thermocouple Thermal-Ribbon

Dimensions W x L x T (max.)	Junction type	Insulation	Temp. range	Lead wires	Time constant*	Features	Model
0.75 x 0.75 x 0.005" (19.1 x 19.1 x 1.3 mm)	E, J, K, or T	Kapton	-200 to 200°C (-328 to 392°F)	AWG 24, solid PTFE insulated	0.8 sec.	Surface mounting	TC40

* In water at 1 m/sec.

Thermistor TS65, TS67

Model TS65 and TS67 offer extremely sensitive NTC thermistors for applications with small temperature changes. Model TS67 also features waterproof construction, making it suitable for continuous immersion.

Sensing element specifications**	Code
NTC thermistor, 50k Ω $\pm$ 1% at 25°C	TF
NTC thermistor, 10k Ω $\pm$ 1% at 25°C	TK

** See table for element options.

How to order

TS65	Model number from table
TF	Element from table
Y	Number of leads: Y = 2 leads
40	Lead length in inches: 40" stocked, 60" maximum
A	Adhesive backing: A = No adhesive B = Pressure-sensitive adhesive (PSA)
TS65TF40A – Sample P/N	

 PSA reduces temperature range to -20 to 177°C (-4 to 350°F) and adds 0.005" (0.1 mm) to thickness.

IN STOCK

TS65 stocked in 40" lead length

TC40 types J, K, T stocked in 36" lead length

Thermocouple TC40

TC40 is a patch-style thermocouple that adheres to all types of surfaces for quick and easy mounting.

How to order

TC40	Model number
J	Junction type: E, J, K, or T
T	Covering over leadwires: T = PTFE only S = Stainless steel braid
36	Lead length in inches: 36" stocked for type J, K, T
A	Adhesive backing: A = No adhesive B = Pressure-sensitive adhesive (PSA)
TC40J36A – Sample P/N	

Thermal-Ribbons

**ANEXO F. CATÁLOGO DE ACCESORIOS
FESTO
(17 folios)**



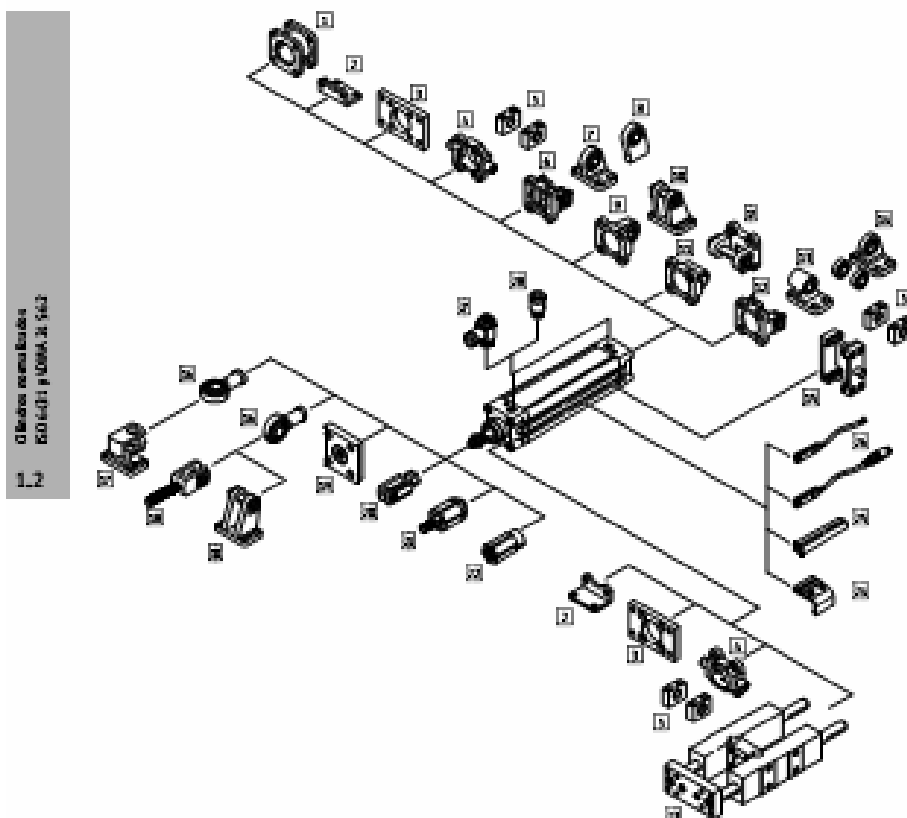
- Cilindros normalizados con carreras de hasta 2 000 mm
- Diseño perfilado y moderno
- Detectores de proximidad montados a ras en la ranura
- Numerosas variantes

Tipos especiales según directiva
ATEX para atmósferas
potencialmente explosivas
→ www.festo.com/es/ex

Cilindros normalizados DNC según ISO 6431 y VDMA 24 562

Guía general de perfiles

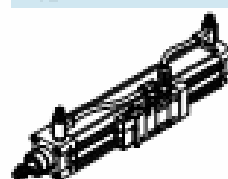
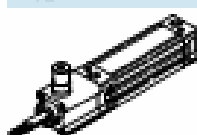
FESTO



Válidantes

DNC...RP

DNC...V



Elementos de fijación y accesorios	Descripción de su uso	DNC			Página
		Tipos básicos	RP	VT...VW	
[1] Conjunto de piezas para el montaje de DNC	Para unir los cilindros de diferentes diámetros para formar un cilindro de varias posiciones	■	■	■	3/1.2-4.1
[2] Piezas de fijación HNC...HNC	Para colar a anterior y posterior	■	■	■	3/1.2-4.4
[3] Fijación posterior HNC...HNC	Para colar a anterior y posterior	■	■	■	3/1.2-4.6

1/1.2-20

Norma y patentes: ISO 6431/VDMA 24 562 – Reseña más reciente de modificaciones – 3.00/3.10

Cilindros normalizados DNC según ISO 6431 y VDMA 24 562

FESTO

Guía general de perfiles

Elementos de fijación y accesorios	Descripción en alemán	DNC			Página
		Tipos básicos	RP	V1...V6	
(A) Bóveda base anterior completa DNC/VS-DNC	Para culata anterior o posterior	■	■	■	1 / 1.3-46
(B) Cylindereinsatz DNC/VS-DNC	–	■	■	■	1 / 1.3-48
(A) Bóveda base anterior SNC	Para culata posterior	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-49
(C) Cylindereinsatz LSHG	Con soporte en el cilindro	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-51
(H) Cylindereinsatz LSHG	Para cilindros con soporte en el cilindro	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-53
(A) Bóveda base anterior SACS	Con soporte en el cilindro para la culata posterior	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-51
(H) Cylindereinsatz	–	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Bóveda base anterior SNCL	Para culata posterior	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-51
(H) Bóveda base anterior SACS(SACS-4)	Para culata posterior	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-56
(H) Cylindereinsatz LSHG/SHG	–	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-53
(H) Cylindereinsatz LSH	Con soporte en el cilindro	■(1)	■(1)	■(1)	1 / 1.3-53
(H) Bóveda base anterior central DNC/SH	Para el montaje indirecto en la cámara perfilada del cilindro	■	■	■	1 / 1.3-47
(H) Cabeza de cilindro SSG/VS-SGS	Con soporte en el cilindro	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Cylindereinsatz transversal LSG	–	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Herramienta SGA	Con resaca exterior	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Placa de acoplamiento ISG	Para compensar desviaciones en el cilindro	■	■	■	1 / 1.3-53
Placa de acoplamiento ISZ	Para cilindros con el sistema de ajuste para compensar desviaciones radiales	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Herramienta SSG/ISG	Para el ajuste de los cilindros en un plano	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Bóveda RC	Para compensar desviaciones radiales y angulares	■	■	■	1 / 1.3-53
(H) Adaptador AD	Para tuberías de aspiración	■	–	■	1 / 1.3-53
(H) Unidad de guía FHG	Para unidades de cilindros normalizados a aplicación en grandes momentos	■(1)	■	–	1 / 1.3-54
(H) Placa de fijación SMO-SH-HG	Para detectores SMO-S montados en el cilindro en combinación con la unidad de guía FHG	■(1)	■	–	1 / 1.3-54
(H) Tapas para ranuras AUP-S-S	Para proteger los cables de los detectores y las ranuras frente a la suciedad	■	■	■	1 / 1.3-55
(H) Detectores de posición SMO/SMO-S	Integrados en la cámara perfilada del cilindro	■	■	■	1 / 1.3-55
(H) Válvula reguladora de caudal GRLA	Para regular la velocidad	■	■	■	1 / 1.3-56
(H) Protección resaca OPS	Para la conexión de tuberías finales con tolerancias en su diámetro exterior según CETOP RP 14-P	■	■	■	Ver 1)

1) Si no es valiente (1) o (2)

2) Con diámetro de trabajo de (1), (2) mm, sólo en versión (1)

Cilindros normalizados
ISO 6431 y VDMA 24 562

1.3

Cilindros normalizados DNC según ISO 6431 y VDMA 24 562

PESTO

Código para el pedido:

Cilindros normalizados
ISO 6431 y VDMA 24 562

1.2

DNC		ISO	VDMA	PPV	A
Tipo					
Doble efecto					
DNC Cilindros normalizados					
Díametro del símbolo (mm)					
Carrera (mm)					
Amortiguación					
P		Si no puede haber de regular el aire			
PPV		Regula bien ambos lados			
Detección de posición					
A		Si no detecta posición			
A		Si no detecta posición			

 Importante

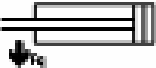
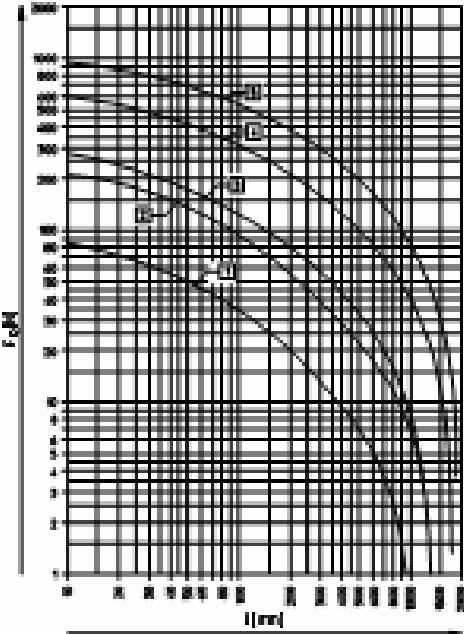
El cilindro normalizado DNC se puede pedir si el usuario proporciona el tipo y la dimensión del tipo o en conjunto al sistema de conjuntos modulares. Si se efectúa el pedido al usuario el número de artículo y la dimensión del tipo, no es posible obtener nada más. Los usuarios únicamente pueden adquirirlo haciendo el pedido con el conjunto modular. El código antes indica de ser necesario únicamente al pedido del cilindro normalizado DNC mediante número de artículo y dimensión del tipo.

Cilindros normalizados DNC según ISO 6431 y VDMA 24 562

FESTO

Hoja de datos

Tipicidad, fuerza transversal F_Q en función de la carrera l



- 10 Ø 10
- 16 Ø 16
- 25 Ø 25, 32
- 32 Ø 32, 40
- 40 Ø 40, 50
- 50 Ø 50

Datos técnicos de la variante Q						
Dámetro del cilindro		10	16	25	32	40
Velocidad de flujo en el cilindro	[m/s]	0,8	1,1	1,5	1,5	1
Alargamiento de flujo en el cilindro	[mm]	±0,15	±0,15	±0,15	±0,15	±0,15

Momento de flujo en el cilindro con el variante Q Diagrama 10-1 (1.3.10)

Ejemplos para el momento de flujo en el cilindro con el variante Q

Ejemplo 1	Ejemplo 2
Carrera l = 150 mm	Fuerza transversal
Resultado admitido	$F_Q = 10 \text{ N}$
Fuerza transversal	Resultado admitido
$F_Q = 9,5 \text{ N}$	Carrera l = 20 mm
Palanca = 84 mm	Palanca = 20 mm

Ejemplo 3

Carrera l = 150 mm

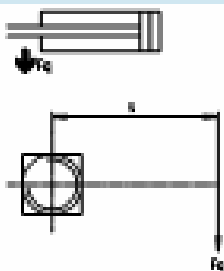
Palanca = 20 mm

$F_Q = \frac{\text{Momento de flujo en el cilindro}}{\text{Palanca}}$

= 8 N

Resultado admitido

$F_Q = 8 \text{ N} < F_{Q \text{ adm}} = 9,5 \text{ N}$



Músculo neumático MAS

Cable de fibra óptica

FESTO

Acciones para fluidos neumáticos
Músculo neumático

5.6

Gran fuerza y aceleración al salir

- Fuerza total hasta 100 N con superior a la de un cilindro convencional de mismo diámetro
- Gas de escape, incluso con grandes cargas

Muchas variantes

- Si se quiere mecánica o eléctrica
- Si en línea, incluso con accionamiento magnético

Poco mantenimiento

- Tecnología muy sencilla, sin detector de posición

Construcción sencilla

- Se pasa cable entre el aire del actuador y el entorno
- Ideal para aplicaciones expuestas a polvos y suciedad
- Estructura robusta

1 / 4-3

Muestra para el 1.000/1.000 - Reseña de la tecnología de fabricación - 1.000/1.000

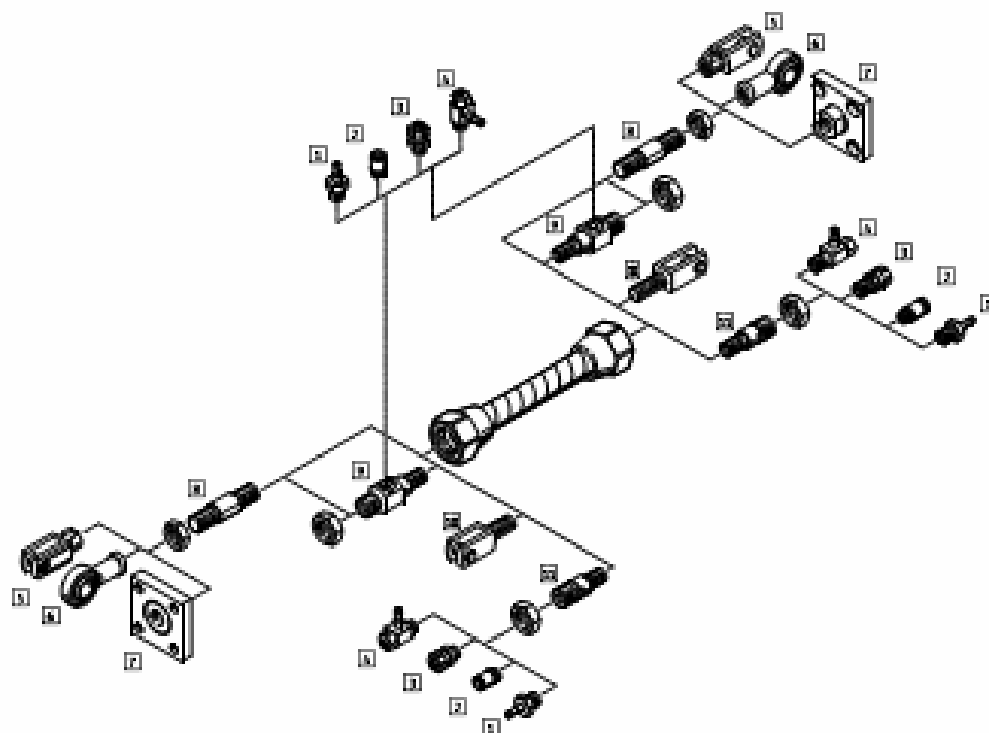
Músculo neumático MAS

Guía general de perfilado

FESTO

Actuadores para funcionamiento neumático
Músculo neumático

5.6



Elementos de fijación y accesorios	Descripción resumida	→ Página
[1] Racores al plástico con H	Para la conexión de tubos de cables controlados en su diámetro exterior	www.festo.com
[2] Racores al plástico con CG	Para la conexión de tubos de cables controlados en su diámetro exterior según CNGPSP 5/2 P	www.festo.com
[3] Racores al plástico CK	Para la conexión de tubos de cables controlados en su diámetro exterior	www.festo.com
[4] Válvula de estrangulación y a nivel cero GR1A	Para regular la velocidad	3 / 5.6-19
[5] Horquilla SG	Permite la conexión giratoria bidireccional del músculo neumático	3 / 5.6-19
[6] Cabeza de rotación SGS	Con cojinete esférico	3 / 5.6-19
[7] Acoplamiento KSG/SG2	Para acoplar dos cables en sus radios	3 / 5.6-19
[8] Barra roscada MMD-1	Para la conexión de acceso al sustrato de montaje	3 / 5.6-19
[9] Pata praflexa al MMD-6	Para la conexión de acceso al sustrato de montaje y para la limitación de movimiento del cable compresor	3 / 5.6-18
[10] Horquilla SGA	Con roscas para el montaje bidireccional del músculo neumático	3 / 5.6-19
[11] Pata praflexa al MMD-4	Para la conexión de acceso al sustrato de montaje y para la limitación de movimiento del cable compresor	3 / 5.6-18

3 / 5.6-18

Ilustración para el uso 1.00-4/1.00-5 - Reseñado el derecho de modificación - 3.00/1.00

Músculo neumático MAS

Código para el pedido

FESTO

		MAS	-	10	-	500H	-	AA	-	RC	-	K	-	ER	-	DG
Función de accionamiento:																
de simple efecto, tracción																
MAS	Músculo neumático															
Cilindro (mm)																
Longitud nominal (mm)																
H	50 ... 9000															
Módulo																
AA	Varía (ver índice de precios)															
Tipo de conexión																
RC	Abierta por un lado															
RC	Conexión de para ambos extremos															
Tipo de conexión																
K	Abierta de un lado con límite de fuerza															
D	Abierta de un lado con limitación de fuerza															
Accesorios (incluidos o no)																
Adaptadores																
ER	1 adaptador para alimentación radial del aire, en un lado															
ER	1 adaptador para alimentación axial del aire, en un lado															
ER	2 adaptadores para alimentación radial del aire, en ambos lados															
ER	2 adaptadores para alimentación axial del aire, en ambos lados															
ER	1 adaptador para alimentación axial y 1 adaptador para alimentación radial del aire															
Fijación																
DG	1 brida rosca para la fijación en un lado															
DG	2 bridas rosca para la fijación en ambos lados															

Adaptadores para limitación de especificación
Módulo de neumático

500H


 - tiempo de
 No confundir la longitud nominal H
 con la carrera
 En el caso de la serie
 MAS ... RC-K, la conexión con
 limitación de fuerza siempre
 está abierta.

Músculo neumático MAS

Higiénico

FESTO

-  **Dámetro:**
10... 40 mm
-  **Longitud nominal:**
40... 9 000 mm
-  **Fuerza:**
0... 5 700 N



Datos técnicos generales			
Tamaño	10	30	40
Conexión neumática	-6 A la pág. 169 AC - Ver a partir de la pág. 171 5.4-16		
Fluido	Aire comprimido filtrado, lubricado y libre de aceites y agua		
Construcción	Membrana contráctil, reforzada con fibra		
Función especial	De simple efecto, tracción		
Dámetro interior	10	30	40
Longitud nominal	40... 9 000	60... 9 000	130... 9 000
Carga a velocidad mínima, carga est.	10	80	240
Carga a velocidad mínima a menor desde el punto de partida con el músculo no presuado	68	140	570
Contracción máxima admisible	10% de la longitud nominal		15% de la longitud nominal
Temperatura ambiente	10% de la longitud del tubo flexible		
Frecuencia de repetición	≤ 1 Hz a la longitud nominal		
Velocidad de desplazamiento ¹⁾	10% de la longitud nominal		
Aumento del diámetro ²⁾ en estado de contracción máxima	3%	10	3%
Extensión al aplicar carga	+5%/+3,5% de la longitud nominal		+4%/+3% de la longitud nominal
Desviación máxima	± 2° entre los ejes de los conexiones		
Desviación de posición	3 mm por cada 100 mm de longitud entre dos puntos de fijación		
Velocidad de carga adicional y conexión	0,001... 1,5		
Tipos de fijación	Con accesorios		
Posición de montaje	Indicada en el diagrama de conexión, en los catálogos de accesorios		

- 1) El más adecuado depende de la velocidad y la carga mínima admisible.
2) La amplificación del diámetro debe utilizarse para la conexión de los cables.

Condiciones de funcionamiento y del entorno			
Tamaño	10	30	40
Rango de funcionamiento	0... 16	0... 6	
Temperatura ambiente	5... 60		
Clase de resistencia al corrosión ¹⁾	3		

- 1) Clasificación de resistencia de acuerdo a la norma DIN EN 12460.
Ejemplos de corrosión: agua salada, agua de mar, aceites, ácidos, álcalis, gases, etc.

Fuerza [N] con la presión de funcionamiento máxima admisible			
Tamaño	10	30	40
Fuerza total	650	1 400	5 700
Fuerza de tracción para el ensamblaje	100	800	1 500
Límite de fuerza	400	1 300	4 000

17 546-10

Norma y presión 1 000/1 000 - Fuerza máxima de tracción de 1 000 N/10

Sistemas de medición de recorrido

Ayuda para la selección

FESTO

Combinaciones recomendadas de sistema de medición, actuador y controlador

Función	Ejecución	Actuadores lineales	Cilindros normalizados	Regulador de posición lineal	Controlador de ejes	→ Página
		DGPL	DNC	SPC11	SPC100	
						
Analógica	IND-POL-TLF		-			§ 1.3-4
	IND-POL-LNG	-				§ 1.3-4
Digital	IND-DIG-PF		-			§ 1.3-4

1) Conjunto, por un montaje → § 1.3-203
2) Sin accesorios de montaje, por un montaje

 **Importante**
 Los sistemas de medición pueden combinarse entre sí para la creación de un sistema de medición de recorrido. En este caso, se respetan las condiciones de montaje y el cliente se ocupa de los correspondientes sistemas de fijación en sus máquinas.

Obligatorio para el pedido

IND	POL	TLF	IND																						
<table border="1"> <tr> <td>Tipo:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>IND</td> <td>Sistema analógico de medición de recorrido</td> </tr> <tr> <td>IND</td> <td>Sistema digital de medición de recorrido</td> </tr> <tr> <td>Principio de medición:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>POL</td> <td>Con potenciometro</td> </tr> <tr> <td>TLF</td> <td>Inductivo</td> </tr> <tr> <td>Carro [mm]</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ejecución:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>TLF</td> <td>Perif</td> </tr> <tr> <td>IND</td> <td>Digital</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>Interfaz AT-Integrada</td> </tr> </table>				Tipo:		IND	Sistema analógico de medición de recorrido	IND	Sistema digital de medición de recorrido	Principio de medición:		POL	Con potenciometro	TLF	Inductivo	Carro [mm]		Ejecución:		TLF	Perif	IND	Digital	PF	Interfaz AT-Integrada
Tipo:																									
IND	Sistema analógico de medición de recorrido																								
IND	Sistema digital de medición de recorrido																								
Principio de medición:																									
POL	Con potenciometro																								
TLF	Inductivo																								
Carro [mm]																									
Ejecución:																									
TLF	Perif																								
IND	Digital																								
PF	Interfaz AT-Integrada																								

30-01/10 - Ilustración de la derecha a la izquierda - Número de pedido: 30-01/10-01

§ 1.3-4

Pedido de un sistema de medición de recorrido
 Sistema de medición de recorrido

1.3

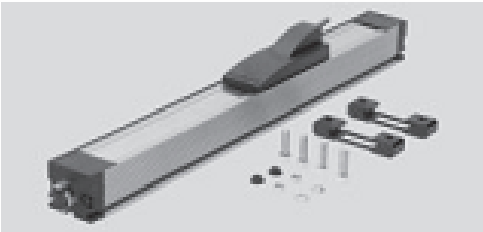
Sistemas analógicos de medición de recorrido MLO-POT



Hojas de datos

MLO-POT-...-TLF

Carro
335 ... 3000 mm



Datos técnicos generales		335	1000	1600	2500	5000	6000	7500	10000	12500	15000	17500	20000
Carro													
Construcción		Perfil abierto con cinta de medición en el carril de deslizamiento											
Principio de medición		Potenciómetro analógico, medición absoluta con contacto											
Resolución	[mm]	0,001											
Velocidad máxima de avance	[m/s]	10											
Aceleración máxima	[m/s²]	300											
Posición de montaje		Indiferente											
Arrastre de	Ángulo de inclinación [°]	≤1											
Ajuste de	Ángulo de inclinación [mm]	≤1,5											
	paralelo												
Curva de	Carro [°]	Máximo 100											
Conexión		Conector 8 pines de 4 contactos, forma A DIN 41650											
Resolución por ciclo	[μ]	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000

Datos eléctricos generales		335	1000	1600	2500	5000	6000	7500	10000	12500	15000	17500	20000
Carro													
Alimentación de tensión	[VDC]	10,4											
Consumo máximo de corriente	[mA]	4											
Corriente de la unidad de	recomendada [μA]	≤1											
unidades	máxima [mA]	100											
Resistencia de conexión	[kΩ]	5	5	5	5	5	5	30	10	10	30	30	30
Tolerancia de la resistencia de la conexión	[%]	±20											
Límite de independencia	[%]	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
Coefficiente de temperatura	[ppm/°K]	5											
Interfaz		analógica											

- 1) Se recomienda el uso de frenos de inercia libre para aplicaciones de inercia 0,5 kg.
2) Posibilidad de conexión para otros tipos de cableado.

Condiciones de funcionamiento y detalles		335	1000	1600	2500	5000	6000	7500	10000	12500	15000	17500	20000
Carro													
Temperatura ambiente	[°C]	-10 ... +100											
Clase de protección	Ante	IP60 según IEC 60529											
	Detrás	IP67 según IEC 60529											
Resistencia a vibraciones		Según DIN/ISO 68, parte 3-6, grado de nivel 3											
Resistencia a choques permanentes		Según DIN/ISO 68, parte 3-37, grado de nivel 3											
Simbología		Según Directiva de Máquinas 89/391/CEE [Directiva de compatibilidad electromagnética]											

- 1) En caso de cambio de temperatura de los componentes, las tolerancias de montaje de los componentes.
2) En caso de cambio de inercia, el tamaño de los frenos de inercia debe adaptarse al tipo.

Electroválvulas Tiger Classic



Quadro geral de produtos

Válvulas de 3/2 vias para aplicação em ar comprimido
Tipo RCL série

2-3

Função	Execução	Tipo	Conexão pneumática	Tensão de funcionamento	
				[V DC]	[V AC]
Válvula de 3/2 vias	Eletrorrelé				
		RPH	G16	13, 34, 43, 48	34, 43, 48, 100, 300, 360
			G16		
			G15		
			G14		
		RPHH	G16	13, 34, 43, 48	34, 43, 48, 100, 300, 360
			G16		
			G15		
			G14		

Função	Execução	Tipo	Conexão pneumática	Tensão de funcionamento	
				[V DC]	[V AC]
Válvula de 3/2 vias	Eletrorrelé				
		RPH	G16	13, 34, 43, 48	34, 43, 48, 100, 300, 360
			G16		
			G15		
	Eletrorrelé a biestável				
		RPHH	G16	13, 34, 43, 48	34, 43, 48, 100, 300, 360
			G16		
			G15		
	Eletrorrelé a biestável com ventilação passiva				
		RPHH	G16	13, 34, 43, 48	34, 43, 48, 100, 300, 360
			G16		

Válvulas e solenóides para a plataforma móvel
Tiger Classic
2.3

Válvulas neumáticas TigerClassic

FESTO

Guía general de productos

Función	Descripción	Tipo	Conexión neumática	Forma de impulsión		Página
				Electro-neumático	Neumático	
Válvula de 3/2 vías		VLE	GN	—	■	3 / 3.3-39
			GN	—	■	
			GN	—	■	
			GN	—	■	
Válvula de 5/2 vías		VL	GN	—	■	3 / 3.3-11
			GN	—	■	
			GN	—	■	
			GN	—	■	
		H	GN	—	—	3 / 3.3-36
			GN	—	—	
			GN	—	—	
			GN	—	—	
		LH	GN	—	—	3 / 3.3-36
			GN	—	—	

Válvulas de 3/2 y 5/2 vías para aplicaciones estándar
TigerClassic

Electroválvulas Tiger Classic

Código para el pedido

PESTO

		10041	-	5	-	104	-	
Tipo								
10041	100 mm en la F, para bobina F							
	Norma interna cerrada							
10041	100 mm en la F, para bobina F							
	Norma interna abierta							
10041	100 mm en la F, para bobina F							
10041	100 mm en la F, para bobina F							
	Consejo: preferiblemente							
Función de válvula								
1	Válvula de 1/2" de línea							
5	Válvula de 3/4" de línea							
Conexión en serie								
104	104							
104	104							
104	104							
104	104							
Alimentación de la línea de pilotaje								
	Interna							
5	Externa							

Válvulas de 1/2" de línea de 100 mm para la aplicación de la serie Tiger Classic

10041

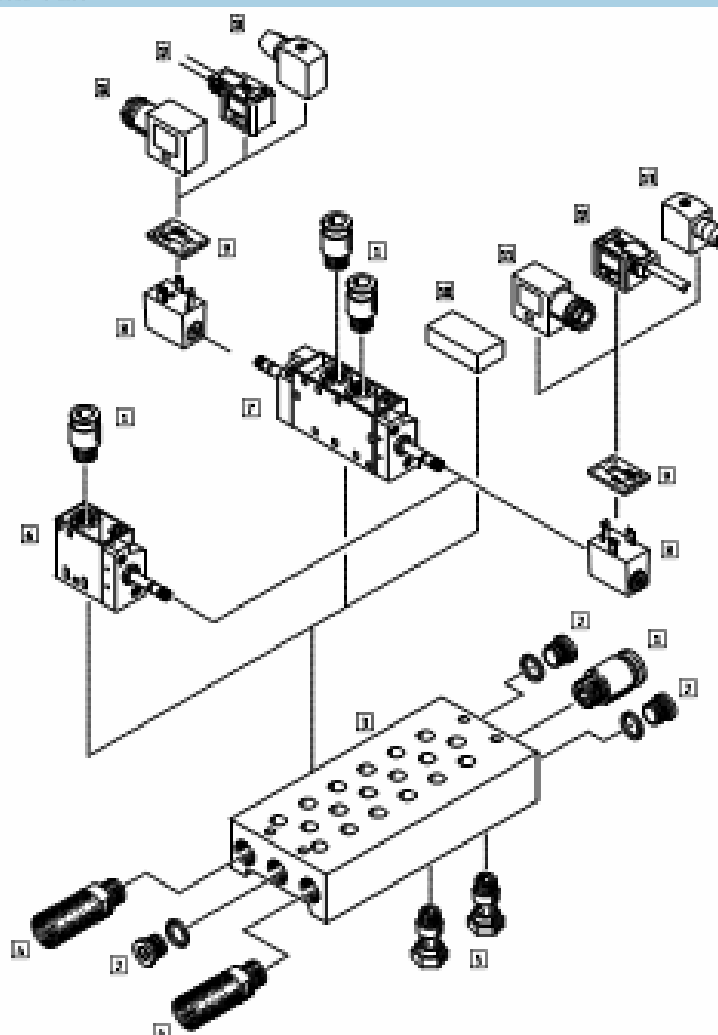
Electroválvulas Tiger Classic

Guía general de perfilados

FESTO

Montaje en placa de alimentación

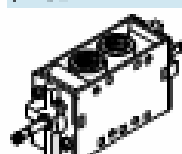
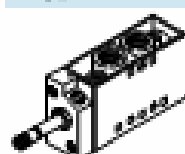
Valvulas electrodinamicas para a plad de alimentacion
Tiger Classic
2-3



Valvulas

BDH 15...

BDH 15...



2 / 2,3-8

Flujo de gas de 2,00-4,00 l/min - Flujo de aceite de 2,00-4,00 l/min - 2,00 l/min

Electroválvulas MFH Tiger Classic

Hoja de datos de las válvulas de 3/2 vías

FESTO

•  - Caudal
500 ... 3500 l/min

•  - Presión
12, 24, 42, 48 V DC
24, 42, 48, 110, 230, 240 V AC

Juegos de piezas de
reemplazo
→ 2/ 2.3-16



Válvulas de 3/2 vías para la pilotación de cilindros
Tiger Classic

2.3

Datos técnicos generales				
Designación simbólica	G1/4	G1/2	G3/8	G1/2
Función de la válvula	Válvulas manovestables de 3/2 vías			
Construcción	Válvula de asiento			
Principio de actuación	Juntas de material sintético			
Tipo de accionamiento	Mecánico			
Forma de regulación	Sin el muelle			
Tipo de muelle	Simplex			
Alimentación del aire de pilotaje	Interna o externa			
Señal de flujo	Interna			
Función de escape	Con estrangulador			
Accionamiento manual auxiliar	Exclusivo			
Tipo de fijación	Perforación			
Perforación de montaje	Inchada			
Dimensiones nominales	[mm]	5	7	14
Caudal nominal	[l/min]	500	800	3500
Presión del producto	[bar]	7-8	10	11-12

Condiciones de funcionamiento y del entorno				
Designación simbólica	G1/4	G1/2	G3/8	G1/2
Fluido	Aire comprimido seco, lubricado o no lubricado			
Presión de funcionamiento	Aire estacionario del aire de pilotaje [bar]	1,5 ... 8	1,5 ... 8	1,5 ... 8
	Aire estacionario del aire de pilotaje [bar]	-0,95 ... +1,0	-0,95 ... +1,0	-0,95 ... +1,0
Presión de pilotaje	[bar]	1 ... 8	1 ... 8	1 ... 8
Temperatura ambiente	[°C]	-5 ... +40		
Temperatura del fluido	[°C]	-20 ... +40		

Electroválvulas MFH Tiger Classic

Hoja de datos técnica de 5/2 vías

FESTO

•  Caudal
900 ... 1.700 l/min

•  Tipo de
12, 24, 42, 48 VDC
24, 42, 48, 110, 230,
240 V AC

Los par. de pñ con de
ac. están:
→ 2 / 2, 3-2-1



Datos técnicos generales				
Carval de neumática	G1/4	G1/2	G3/8	
Función de válvula	Válvula de 5 vías con tablero de 5/2 vías			
Construcción	Válvula de asiento			
Principio de operación	Válvula de material al solenoide			
Tipo de accionamiento	Eléctrico			
Forma de posición	Bistable mecánico			
Tipo de mando	Servopilotoje			
Sentido de flujo	Invertible			
Alimentación del aire de pilotoje	Intermedia o externa			
Función de escape	Con escape regulable			
Acción ambiente: manual auxiliar	Opcional			
Tipo de fijación	Válvula en el tubo			
Posición de montaje	Horizontal			
Diámetro nominal	[mm]	6	8	10
Caudal nominal	[l/min]	900	1.000	1.700
Peso del producto	[kg]	0,70	0,90	1.135

Condiciones de funcionamiento y de entorno					
Carval de neumática		G1/4	G1/2	G3/8	
Fluido		Aire comprimido filtrado, lubricado con lubricante			
Presión de funcionamiento	Alimentación interna del a line de pilotoje	[bar]	1,8 ... 8	2,3 ... 8	3 ... 8
	Alimentación externa del a line de pilotoje	[bar]	0 ... 10	0 ... 8	0 ... 8
Presión de pilotoje		[bar]	1 ... 8	1,5 ... 8	1,5 ... 8
Temperatura ambiente		[°C]	-5 ... +10		
Temperatura del fluido		[°C]	-10 ... +60		

Válvula de 5/2 vías para un pñ. 5/2 vías en el tubo
Tiger Classic

2_3

ANEXO G. PROPIEDADES DEL ACRÍLICO

(2 folios)

Polimetacrilato de Metilo (PMMA, Acrilo) - Información de Material

Propiedades Eléctricas

Constante Dieléctrica @1MHz	2,6
Factor de Disipación a 1 MHz	0,014
Resistencia Dieléctrica (kV mm ⁻¹)	15
Resistividad Supeficial (Ohm/sq)	10 ¹⁴
Resistividad de Volumen (Ohmcm)	2-14 x 10 ¹⁵

Propiedades Físicas

Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0,2
Densidad (g cm ⁻³)	1,19
Indice Refractivo	1,49
Indice de Oxígeno Límite (%)	17-20
Inflamabilidad	HB
Número Abbe	57,2
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Buena

Propiedades Mecánicas

Alargamiento a la Rotura (%)	2,5-4
Dureza - Rockwell	M92-100
Módulo de Tracción (GPa)	2,4-3,3
Relación de Poisson	0,35 - 0,4
Resistencia a la Tracción (MPa)	80
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	16-32

Propiedades Térmicas

Calor Específico ($\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$)	1400 - 1500
Coeficiente de Expansión Térmica ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	70-77
Conductividad Térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	0,17-0,19
Temperatura Máxima de Utilización (C)	50 a 90
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-40
Temperatura de Deflección en Caliente - 0.45MPa (C)	105
Temperatura de Deflección en Caliente - 1.8MPa (C)	95

Resistencia Química

Acidos - concentrados	Buena-Mala
Acidos - diluidos	Buena-Mala
Alcalís	Buena
Alcoholes	Buena-Mala
Cetonas	Mala
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Mala
Hidro-carbonios halógenos	Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Mala

**ANEXO H. PROPIEDADES DEL DURALÓN
(NYLON 6,6) Y TEFLÓN
(POLITETRAFLÚORETILENO)
(5 folios)**

MATERIAL DURALON PARA FABRICACION DE POZOS Y TORNILLERIA



Marcas comunes::Akulon S Maranyl A Utramid A Zytel

Propiedades Eléctricas

Constante Dieléctrica @1MHz	3,4
Factor de Disipación a 1 kHz	0,2
Resistencia Dieléctrica (kV mm ⁻¹)	25
Resistividad Supeficial (Ohm/sq)	10 ¹¹
Resistividad de Volumen (Ohmcm)	10 ¹³

Propiedades Físicas

Absorción de Agua - Equilibrio (%)	8
Absorción de Agua - en 24 horas (%)	2,3
Densidad (g cm ⁻³)	1,14
Indice Refractivo	1,53
Indice de Oxígeno Límite (%)	23
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala

Propiedades Mecánicas

Coeficient de Fricción	0,2-0,3
Dureza - Rockwell	M89
Módulo de Tracción (GPa)	3,3
Relación de Poisson	0,41
Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 (mg/1000 ciclos)	3-5
Resistencia a la Tracción (MPa)	82
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	40-110

Propiedades Térmicas

Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1670
Coeficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	90
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,25
Temperatura Máxima de Utilización (C)	80-180
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-30
Temperatura de Deflección en Caliente - 0.45MPa (C)	200
Temperatura de Deflección en Caliente - 1.8MPa (C)	100

Resistencia Química

Acidos - concentrados	Mala
Acidos - diluidos	Mala
Alcalís	Buena-Aceptable
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Mala
Hidro-carbonios halógenos	Buena-Mala
Hidrocarburos Aromáticos	Buena

Propiedades para Película de Poliamida - Nilón 6, 6

Propiedad	Valor	
Alargamiento a la Rotura	%	200
Constante Dieléctrica @ 1 MHz		2,3
Factor de Disipación @1 MHz		0,004
Permeabilidad al Agua @38C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	1200
Permeabilidad al Dióxido de Carbono @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	0,06
Permeabilidad al Oxígeno @25C	$\times 10^{-13} \text{ cm}^3 \cdot \text{cm cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$	0,004
Resistencia Dieléctrica a 25µm de grosor	kV mm ⁻¹	34
Temperatura de Sellado en Caliente	C	245

POLITETRAFLÚORETILENO (PTFE) - INFORMACIÓN DE MATERIAL

Propiedades Eléctricas

Constante Dieléctrica @1MHz	2,0-2,1
Factor de Disipación a 1 MHz	0,0003 - 0,0007
Resistencia Dieléctrica (kV mm ⁻¹)	50-170
Resistividad Supeficial (Ohm/sq)	10 ¹⁷
Resistividad de Volumen (Ohmcm)	10 ¹⁸ -10 ¹⁹

Propiedades Físicas

Absorción de Agua - en 24 horas (%)	0,01
Densidad (g cm ⁻³)	2,2
Indice Refractivo	1,38
Indice de Oxígeno Límite (%)	95
Inflamabilidad	V0
Resistencia a la Radiación	Mala
Resistencia a los Ultra-violetas	Excelente

Propiedades Mecánicas

Alargamiento a la Rotura (%)	400
Coefficient de Fricción	0,05-0,2
Dureza - Rockwell	D50-55 - Shore
Módulo de Tracción (GPa)	0,3-0,8
Relación de Poisson	0,46
Resistencia a la Tracción (MPa)	10-40
Resistencia al Impacto Izod (J m ⁻¹)	160

Propiedades Térmicas

Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1000
Coefficiente de Expansión Térmica (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	100-160
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	0,25
Temperatura Máxima de Utilización (C)	180-260
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-260
Temperatura de Deflección en Caliente - 0.45MPa (C)	120
Temperatura de Deflección en Caliente - 1.8MPa (C)	54

Resistencia Química

Acidos - concentrados	Buena
Acidos - diluidos	Buena
Alcalís	Buena
Alcoholes	Buena
Cetonas	Buena
Grasas y Aceites	Buena
Halógenos	Buena
Hidro-carbonios halógenos	Buena
Hidrocarburos Aromáticos	Buena

**ANEXO I. CATÁLOGO DE PERFILES Y
LÁMINAS DE ACERO
(4 folios)**

DIMENSIONES (pulg) PESO ESTIMADO	DIMENSIONES (pulg) PESO ESTIMADO
Lb/pie Kg/m Kg/6m	lb/pie kg/m kg/6m
1 1/2 x 1 1/2 x 3/32 0.929 1.382 8.292	2 x 2 x 5/16 3.920 5.834 35.002
1 1/2 x 1 1/2 x 1/8 1.230 1.830 10.983	12 x 2 x 3/8 4.700 6.994 41.966
1 1/2 x 1 1/2 x 3/16 1.800 2.679 16.072	2 1/2 x 2 1/2 x 3/16 3.070 4.569 27.412
1 1/2 x 1 1/2 x 1/4 2.340 3.482 20.894	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4 4.100 6.101 36.609
1 3/4 x 1 1/4 x 1/8 1.440 2.143 12.858	2 1/2 x 2 1/2 x 5/16 5.000 7.441 44.645
1 3/4 x 1 1/4 x 3/16 2.120 3.155 18.929	2 1/2 x 2 1/2 x 3/8 5.900 8.780 52.681
1 3/4 x 1 1/4 x 1/4 2.770 4.122 24.733	3 x 3 1/4 4.900 7.292 43.752
2 x 2 x 1/8 1.650 2.455 14.733	3 x 3 x 5/16 6.100 9.078 54.467
2 x 2 x 3/16 2.440 3.631 21.787	3 x 3 x 3/8 7.200 10.715 64.289
2 x 2 x 1/4 3.190 4.747 28.483 15.636	3 x 3 x 1/2 9.400 13.989 11.754
25 x 25 x 2.5 0.932 5.592	30 x 30 x 3.0 1.341 8.046
20 x 20 x 3.0 0.871 5.228	30 x 30 x 2.5 1.128 6.768

Propiedades Mecánicas:

- Límite de Fluencia mínimo = 2550 kg/cm².
 - Resistencia a la Tracción = 4080 - 5610 kg/cm² (*)
 - Alargamiento en 200 mm espesores:
 - 2,5mm , 3,0mm y 1/8" = 12,5 % mínimo.
 - 4,5 mm = 14,5 % mínimo.
 - 3/16" = 15,0 % mínimo.
 - 6,0 mm = 17,0 % mínimo.
 - 1/4" = 17,5 % mínimo.
 - Soldabilidad = Buena soldabilidad.
- (*) Para el espesor de 2,5 mm la resistencia a la tracción mínima es de 3500 kg/cm².

BARRA PERFORADA



Acero al carbono de alto manganeso

ACEROS Marca C.G.A.	Norma internacional (S.A.E./A.I.S.I.)
S.A.E 1518	1518-

Son aceros usados en la fabricación de piñones, bujes, casquillos, partes para la industria petrolera, acoples y ejes de transmisión. El acero distribuido por la CGA es el AISI 1518.

Manganeso: Este material está presente en todos los aceros comerciales al carbono en el intervalo de 0,03 a 1,00%. Su función de contraponerse a los malos efectos del azufre ya se hizo notar. Cuando hay más manganeso presente que la cantidad requerida para formar el MnS, el exceso se combina con el carbono para formar el compuesto Mn₃C, que se asocia con el carburo de hierro, Fe₃C, cementita.

LAMINAS HR ESTRUCTURALES



Normas técnicas

ASTM A-569, A-36, A-283 grado C

Descripción y uso

Planchas de acero laminadas en caliente, destinadas a la construcción de silos, embarcaciones pesqueras, vagones, estructuras y otros usos en general.

Presentación

Se presenta en la calidad comercial y en la calidad estructural.

Requerimientos químicos (%)

ELEMENTOS	ASTM A569	ASTM A36 - 96	ASTM A283 –93a grado C
C	0.18 máx.	0.25 máx.	0.24 máx.
Mn	-	0.8 – 1.20 (0 > 3/4")	0.90 máx.
P	0.035	0.040 máx.	0.035 máx.
S	0.040	0.050 máx.	0.040 máx.
Si	-	0.40 máx	0.40 máx.

ANEXO J. DENOMINACIÓN DE ROSCAS
(1 folio)

ROSCAS

La siguiente tabla entrega información para reconocer el tipo de rosca a través de su letra característica, se listan la mayoría de las roscas utilizadas en ingeniería mecánica.

Símbolos de roscado más comunes	Denominación usual	Otras
American Petroleum Institute	API	
British Association	BA	
International Standards Organisation	ISO	
Rosca para bicicletas	C	
Rosca Edison	E	
Rosca de filetes redondos	Rd	
Rosca de filetes trapezoidales	Tr	
Rosca para tubos blindados	PG	Pr
Rosca Whitworth de paso normal	BSW	W
Rosca Whitworth de paso fino	BSF	
Rosca Whitworth cilíndrica para tubos	BSPT	KR
Rosca Whitworth	BSP	R
Rosca Métrica paso normal	M	SI
Rosca Métrica paso fino	M	SIF
Rosca Americana Unificada p. normal	UNC	NC, USS
Rosca Americana Unificada p. fino	UNF	NF, SAE
Rosca Americana Unificada p.exrafino	UNEF	NEF
Rosca Americana Cilíndrica para tubos	NPS	
Rosca Americana Cónica para tubos	NPT	ASTP
Rosca Americana paso especial	UNS	NS
Rosca Americana Cilíndrica "dryseal" para tubos	NPSF	
Rosca Americana Cónica "dryseal" para tubos	NPTF	

ANEXO K. PROPIEDADES DEL NEOPRENO
(1 folio)

Límite de Dureza (Sh A)		40 a 95
Peso Específico (Material base)		1.23
Adhesión a Metales		Excelente
Adhesión a telas		Excelente
Resistencia al Desgarramiento		Buena
Resistencia a la Abrasión		Excelente
Deformación por compresión		Regular a Buena
Rebote	Frío	Bueno
	Caliente	Muy Bueno
Resistencia Dieléctrica		Muy Buena
Electroaislamiento		Regular a Bueno
Permeabilidad a los Gases		Baja
Acidoresistencia	Diluido	Excelente
	Concentrado	Buena
Resistencia a los disolventes	Hidrocarburos Alifáticos	Regular a Buena
	Hidrocarburos Aromáticos	Regular
	Solventes Oxigenados (cetonas)	Pobre a Regular
	Disolventes de lacas	Pobre
Resistencia a:	Hinchamiento en Aceite Lubricante	Buena
	Aceite y Gasolina	Buena
	Aceites vegetales y animales	Buena
	Higroscopocidad	Buena
	Oxidación	Muy Buena
	Ozono	Muy Buena
	Envejecimiento a la luz solar	Muy Buena
	Envejecimiento en caliente	Buena
	Bajas temperaturas	Buena
	Llama	Buena

ANEXO L. COTIZACIONES
(9 folios)



ROQUE JULIO PARRA SIERRA
INGENIERO MECANICO
NIT 91.274.539 - 4
IVA - REGIMEN COMUN

Bucaramanga, Septiembre 26 de 2006

Señores
CENTRO DE INVESTIGACION DEL GAS Y DEL PETROLEO
Atte.
Ciudad

A continuación presentamos a su disposición la siguiente cotización:

ITEM	DESCRIPCION	CANT	V/R UNIT	V/R TOTAL
1	FABRICACION DE PRENSA PARA PRUEBAS DE LABORATORIO SEGÚN PLANO.	1	\$ 6'200.000.00	\$ 6'200.000.00
	VALOR TOTAL			\$ 6'200.000.00

CONDICIONES DE LA OFERTA

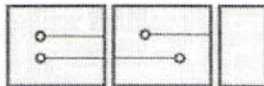
PRECIOS + IVA
VALIDEZ DE LA OFERTA : 10 días.
TIEMPO DE ENTREGA : 10 días.
FORMA DE PAGO : 30 dias f.f.

En espera de resolver cualquier inquietud.

Atentamente

ROQUE JULIO PARRA SIERRA
Ingeniero Mecánico

CALLE 19 # 15 - 65/67 TELE-FAX 6716728 CEL 315-7822644
Bucaramanga - Colombia



E.S. INSTRUMENTACION NIT 830.053.412-1

COTIZACION 5137

PRECIOS EN PESOS COLOMBIANOS

Institucion: Universidad Industrial de Santander

Atn. Adriana Velez

Proyecto:

Fax:

Email: ariadnavelezg12@hotmail.com

Direccion:

Telefonos: Ciudad: BOGOTA

Contacto en ventas: Marcela Jimenez - Ingeniera

Item	Cantidad	No. Parte	Descripcion	Valor Unitario	Valor Total
1	3	777518-112	FP-AI-112, 16 bit Analog Input Module (V) 16 channel	\$2,343,484.00	\$7,030,452.00
2	6	777518-120	FP-TC-120 8-Ch. Thermocouple Input Module FieldPoint analog input module for thermocouples; requires FP-TB-1, FP-TB-2 or FP-TB-3. FP-TB-3 is strongly recommended.	\$1,769,904.00	\$10,619,424.00
3	6	777519-01	FP-TB-1 Universal Terminal Base, Screw Terminals Terminal base for any FieldPoint I/O module.	\$393,312.00	\$2,359,872.00
4	6	777519-03	FP-TB-3 Isothermal Terminal Base, Screw Terminals Recommended for FP-TC120 and Thermocouples; will work with any I/O Module.	\$721,072.00	\$4,326,432.00
5	1	777517-00	FP-1000 RS-232/RS-485 Network Module	\$1,655,188.00	\$1,655,188.00
6	1	777518-400	FP-DO-400 Discrete Output Module FieldPoint discrete output module; requires FP-TB-1 or FP-TB-2 terminal base.	\$819,400.00	\$819,400.00
7	1	777518-200	FP-AO-200 8-Ch. 4-20 mA Output Module FieldPoint analog output module; requires FP-TB-1 or FP-TB-2 terminal base.	\$2,081,276.00	\$2,081,276.00
8	1	777517-01	FP-1001 RS-485 Network Module	\$1,655,188.00	\$1,655,188.00
9	1	777518-102	FP-AI-102 Analog Input Module, High Voltage, 12-Bit	\$1,769,904.00	\$1,769,904.00
DESCUENTOS: 12% por pago 100% anticipado. 9% por pago contraentrega 6% por pago a 15 dias calendario de la fecha de la factura.				SubTotal	\$ 32,317,136.00
				IVA	\$ 5,170,741.76
Comentarios:				Total	\$ 37,487,877.76

Garantía

National Instruments garantiza al Cliente que la fabricación de la Instrumentación y de los materiales que componen los mismos, estará libre de defectos de materiales y fabricación durante el plazo de un (1) año para todos los productos hardware National Instruments, valida desde la fecha de recepción de los equipos por parte del cliente, el Software licenciado por National Instruments, se garantiza por un periodo de Noventa - 90 - días desde la fecha de entrega, en los términos de garantía señalados en el Contrato de Licencia.

La única responsabilidad de National Instruments bajo la presente garantía será la de proceder a la reparación de los Equipos / software o la sustitución de los mismos.

En el supuesto de que dicha reparación o sustitución no fuera razonable o factible National Instruments reembolsará el precio de venta / canon de licencia.

Salvo acuerdo en contrario, la reparación o sustitución se llevará a cabo en las instalaciones de National Instruments, asumiendo el Cliente los gastos de transporte y seguros necesarios. En el supuesto en que National Instruments determine que el Equipo o Software no es defectuoso, lo devolverá al Cliente a su costa y estará autorizado a cobrar al Cliente un cargo por la realización de tales comprobaciones.

En consecuencia, National Instruments no asume ninguna otra garantía adicional que no haya sido reflejada en este documento, ya sea implícita o explícita. De forma específica, National Instruments rechaza cualquier tipo de garantía de comercialidad, implícita o adecuación para un determinado uso, así como cualquier responsabilidad por daños indirectos.

Forma de Pago: 30 dias fecha de la factura

Tiempo de Entrega: 30 dias habiles despues de la fecha de la orden de compra.

Esta cotizacion tiene una validez de 15 dias calendario a partir del 26 de Septiembre de 2006

Pago de anticipos: Cuenta Corriente BANCOLOMBIA #2070-1823660 a nombre de E.S. INSTRUMENTACION

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAMANGA
BUCARA - Colombia

Orden de Compra	Con fecha COT DEL PETROLEO
-----------------	-------------------------------

NIT 914886266	Teléfono 6341884	Fax 6349421
------------------	---------------------	----------------

La suma de mil pesos Por cámara	Con título de pago Pago de contado
------------------------------------	---------------------------------------

Cotización
11098693

Fecha
19/09/2006

Válida a
19/10/2006

Página
1 de 6

No. de cliente
26002033

Descripción	Unidad	Por cada Unidad	Cantidad	Total
Item 1 CILINDRO DOBLE DNC-80-300-PPV-A Plazo de Entrega: 1 Día hátil	163432	737,292.50	1 P2	737,292.50
Item 2 Fij. MONT. P / B FNC-80 Plazo de Entrega Inmediato	174380	107,712.00	1 P2	107,712.00
Item 3 ELECTROV. CON MU MFH-S-1/4 Plazo de Entrega Inmediato	6211	278,000.00	1 P2	278,000.00
Item 4 BOB. MAGNÉTICA MSFG-2ADC / A3AC Plazo de Entrega Inmediato	4527	47,656.00	1 P2	47,656.00
Item 5 BACOR RAPIDO QS -3 / 8-8 Plazo de Entrega Inmediato	153066	7,450.00	2 P2	14,900.00

Porcentaje:

Atención al Cliente: 918-01
Bogotá
Código de
Teléfono: +57-01-8400000
Fax: 0187-2-00-0000
NIT: 9056241389-1
www.festo.com.co

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAMANGA
BUCARA - Colombia

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Item 4 BACOR RAPIDO QS-1/4-8 Plazo de Entrega Inmediato	153005	7,300.00	4 P2	29,200.00
Item 7 REGULADOR DE CA GRILA-3/8-B Plazo de Entrega Inmediato	151178	66,470.00	2 P2	132,940.00
Item 8 REG PRESION C/M LR-1/4-D-WIN Plazo de Entrega Inmediato	159625	122,477.00	1 P2	122,477.00
Item 9 CILINDRO DOBLE DNC-80-350-PPV-A Plazo de Entrega 1.07a hállale	163432	757,608.75	1 P2	757,608.75
Item 10 HORQUILLA ARTIC SGS-M 20X1.5 Plazo de Entrega Inmediato	9364	148,363.00	1 P2	148,363.00
Item 11 FJ. AISLANTE SNCS-80 Plazo de Entrega Inmediato	174394	123,869.00	1 P2	123,869.00
Item 12 CABALLETE OLIN LN-80 Plazo de Entrega Inmediato	5151	113,236.00	1 P2	113,236.00

Colección
11098693

Fecha
19/09/2006

Válida
19/10/2006

Página
2 de 6

No. de Orden
26002033

Fecha Impresión

Asesor Comercial: 916-43
Bogotá

Colombia
Tel: 0057-1-455 00 00
Fax: 0057-1-455 00 01
NET: 0057-1-455-1
www.festo.com.co

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAWANGA
BUCARA - Colombia

Descripción	Moneda	Precio Unitario	Cantidad	Total
Item 23 ELECTROVACION MU MFH-3-1/4 Plazo de Entrega: inmediato	9964	255,000.00	2 P2	510,000.00
Item 24 BOB. MAGNÉTICA MSFG-24DC/4 2AC Plazo de Entrega: inmediato	4527	47,856.00	2 P2	95,712.00
Item 25 RACOR RAPIDO Q5-3/8-8 Plazo de Entrega: inmediato	153006	7,450.00	2 P2	14,900.00
Item 26 REGULADOR DE CA GRILA-3/8-8 Plazo de Entrega: inmediato	151178	66,470.00	2 P2	132,940.00
Item 27 VALVULA ANTI RE HSL-1/4 Plazo de Entrega: inmediato	12939	159,634.00	2 P2	319,268.00
Item 28 RACOR RAPIDO Q5-1/4-8 Plazo de Entrega: inmediato	153005	7,300.00	6 P2	43,800.00
Item 29 RACOR RAPIDO Q5F-1/4-8 B Plazo de Entrega: inmediato	153036	15,800.00	2 P2	31,600.00

Colización
11098493

Fecha
19/09/2006

Fecha
19/10/2006

Page
3 de 6

No. de cliente
26002033

Fecha: 19/09/06

As. El Encargado P.A. 98-03
Bogotá

Colombia
Teléfono: +57 01 455 80 00
Fax: +57 01 455 80 00
Móvil: +57 311 99 99 99
www.festo.com.co

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAMANGA
BUCARA - Colombia

Descripción	Material	Precio Unitario	Cantidad	Total
Item 20 SENSOR POSICIÓN MLO-ROT-360-LWIG Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	153647	1,585,000.00	1 PZ	1,585,000.00
Item 21 CONECTOR LWIG SD-4-WD-7 Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	194332	30,000.00	1 PZ	30,000.00
Item 22 MÚSCULO NEUM. MAS-20- MAS-20-156N-AA-MO-K-88-BG Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	594202	590,527.99	2 PZ	1,181,055.98
Item 23 ELECTROVÁLVULA MHE-2-M5H-3/3G-M7 Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	194131	210,000.00	2 PZ	420,000.00
Item 24 RACOR RAPIDO QSM-M7-6-4 Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	153321	7,327.00	6 PZ	43,962.00
Item 25 CONECTOR C/CABL KMV2-4-24D-C0.5-8 Plazo de Entrega: 1 Días hábiles	193690	11,000.00	2 PZ	22,000.00
Item 26 UNID. DE MANT. C/ FRC-1/4-D-MIN Plazo de Entrega: Inmediato	159605	285,180.00	1 PZ	285,180.00

Cotización
11098493

Fecha
19/09/2024

Válida
19/10/2024

Página
4 de 6

No. de cliente
26002033

Para más...

As. El Dorado No. 99-01
Bogotá

Cableado
Tel: 057-1-624 00 00
Fax: 057-1-624 00 01
www.festo.com.co

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAMANGA
BUCARA - Colombia

Descripción	Medida	Precio Unitario	Cantidad	Total
Item 27 VALVULA DE CORR W -3-1/4 Plazo de Entrega inmediato	2340	104,862.00	1 P2	104,862.00
Item 28 CORLE QM -1/4-1/4 Plazo de Entrega inmediato	2255	4,427.00	1 P2	4,427.00
Item 29 RACOR RAPIDO QS -1/4-8 Plazo de Entrega inmediato	153005	7,300.00	2 P2	14,600.00
Item 30 CONECTOR POR EN QST-8-8 Plazo de Entrega inmediato	153135	15,600.00	1 P2	15,600.00
Item 31 CONECTOR POR EN QST-8 Plazo de Entrega inmediato	153129	15,000.00	1 P2	15,000.00
Item 32 TUBO FLEXIBLE RJN-8X1,25 BL Plazo de Entrega inmediato	159666	5,480.00	10 M	54,800.00
Item 33 TUBO FLEXIBLE RJN-6X1 BL Plazo de Entrega inmediato	159664	4,180.00	5 M	20,900.00

Código de n
11098693

Fecha
19/09/2006

Fecha
19/10/2006

Página
5 de 6

No. de cliente
26002033

Fecha total

As. El Dorado S.A. - 914-01
Bogotá

Código de
Tel: 0121-11-0000000
Fax: 0121-11-0000000
Web: 0121-11-0000000
www.festo.com.co

FESTO

VENTAS
AGENCIA BUCARAMANGA
BUCARA - Colombia

Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Item 14 BLOQUE DE CONEX PRS-1/4-3 Plazo de Entrega: 1 día hábil	10186	138,842.00	1 PZ	138,842.00
Item 15 TORNILLO HUECO VT -1/4-PRS Plazo de Entrega: inmediato	9499	24,998.00	3 PZ	80,994.00
Item 16 SILENCIADOR C/R U -3/8 Plazo de Entrega: inmediato	2909	28,500.00	2 PZ	57,000.00
Item 17 BACOR RAPIDO Q5 -3/8-8 Plazo de Entrega: inmediato	153006	7,450.00	1 PZ	7,450.00
Total				7,842,647.23
Valores en Pesos, más IVA vigente al momento de la cotización.				

Cotización
11098493

Fecha
19/09/2006

Válida a
19/10/2006

Página
6 de 6

No. de cliente
26002033

Atte: _____
EDUARDO GOMEZ
eduardo.gomez@co.festo.com
Cel. 315-3771319

Somos agentes retenedores y gran descomulgadores. Agentes respaldados de BSA y del ICA.

Festo Ltda.

Av. El Dorado No. 98-43
Bogotá
Colombia
Tel: 0057-1-4548888
Fax: 0057-1-4548888
NIT: 900.000.000-1
www.festo.com.co

Bogotá D.C., 17 de Julio de 2006

Señores
Centro de Investigaciones del gas y del petróleo
Universidad de Santander

Cotización No. 6302

De acuerdo a su solicitud estamos cotizando el siguiente artículo:

CAJA EN ACRILICO

- Características	Material:	Acrílico
	Color:	Transparente
	Calibre	20 mm.
	Medidas	0.60 x 0.60 x 0.13 m.
	Observación:	con tapa, según modelo

- Valor Unitario	\$ 1.250.000 + IVA
	Régimen común IVA
	• NIT 51.761.606 - 3

FAVOR GIRAR CHEQUE A NOMBRE DE ACRÍLICOS BODEGÓN DE LA 13
Y/O IRMA RODRIGUEZ

- Cantidad	1 unidad
- Forma de pago	50% de abono inicial; 50% contra entrega de la mercancía en nuestro almacén
- Tiempo de entrega:	5 días

Sin otro particular y esperando poder servirles.

Cordialmente,

NOHORA CHAVARRO
Ventas