

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS METROLÓGICAS Y CALIBRACIÓN  
PARA INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO GARANTIZANDO CUMPLIMIENTO  
DE NORMAS ISO 9.000.V 2.000**

**JEFFERSON MORALES ORTEGA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS METROLÓGICAS Y CALIBRACIÓN  
PARA INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO GARANTIZANDO CUMPLIMIENTO  
DE NORMAS ISO 9.000.V 2.000**

**JEFFERSON MORALES ORTEGA**

**Trabajo de Pasantía para optar al título de Ingeniero Mecatrónico**

**Director de la pasantía.  
ADOLFO ORTIZ ROSAS  
Ingeniero especialista en automatización  
de procesos industriales**

**Coordinador del Proyecto.  
JHON MARIO BOLAÑOS CASTILLO  
Ingeniero especialista en automatización  
de procesos industriales**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2006**

**Nota aceptación:**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

**Ing. JYMMY TOMBE ANDRADE**

Jurado

**Ing. JUAN CARLOS MENA**

Jurado

**Santiago de Cali, 25 de Enero 2007**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Maria Eugenia Ortega Bolaños y Jose Manuel Morales Avendaño quienes hicieron un gran esfuerzo para brindar una formación integral a nivel personal y profesional, a mi hermano Sebastián Morales Ortega quien apenas empieza a sembrar los frutos en sus primeros años en el colegio, un largo camino que espero algún día recojas una gran cosecha.

Agradezco al Ing. Esp. Jhon Mario Bolaños que fue el gestor de este proyecto con su experiencia en el campo de la automatización y la instrumentación industrial fue de gran ayuda para la realización de este sueño, al departamento de Instrumentación de Propal en especial a Felipe Rojas (metrológico) que fue fundamental en la depuración y el mejoramiento de este diseño, a Ligia Teresa Rubio por su comprensión y ayuda.

Al Ing. Esp. Adolfo Ortiz Rosas por enseñanza brindada a lo largo del pregrado de ingeniería su orientación en este trabajo y a todas las personas que de una u otra forma intervinieron para la culminación de este sueño ser ingeniero.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	12
RESUMEN	13
INTRODUCCION	14
<b>1. IMPLEMENTACION DEL METODO DE DISEÑO MECATRONICO PARA ESTABLECER LAS NECESIDADES ESPECIFICAS QUE SE REQUIEREN PARA EL DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS METROLOGICAS Y CALIBRACIÓN PARA INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO GARANTIZANDO CUMPLIMIENTO DE NORMAS ISO 9.000. V 2.000</b>	<b>17</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN DEL PRODUCTO	17
1.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE	18
1.3 LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE	18
1.3.1 Necesidades funcionales	18
1.3.2 Necesidades estructurales	18
1.3.3 Necesidades estéticas y económicas	19
1.4 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	20
1.5 BENCHMARKING	23
1.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES APLICADO A LAS MÉTRICAS BÁSICAS DE NUESTRO PROYECTO	24
1.7 GENERACIÓN DE CONCEPTOS	26

1.7.1	Clarificación del problema	26
1.7.2	Descomposición del problema	26
1.8	INTERACCIONES FUNDAMENTALES	28
1.9	ESTABLECIMIENTO DE LAS SUBFUNCIONES CRÍTICAS	29
1.10	BÚSQUEDA DE LA SOLUCIÓN	29
1.11	EXPLORACIÓN SISTEMATIZADA	30
1.12	SELECCIÓN DE CONCEPTOS	33
1.12.1	Matriz para el tamizaje de conceptos	33
1.12.2	Matriz para la evaluación de concepto	34
<b>2.</b>	<b>IMPLEMENTACION DE LA INGENIERIA DE DETALLE CON LOS RESULTADOS ARROJADOS POR EL METODO DE DISEÑO MECATRONICO</b>	<b>35</b>
2.1	PRUEBA DE CONCEPTOS	35
2.1.2	Especificaciones finales de diseño	36
2.1.3	Diseño detallado	36
2.1.4	Marcas homologadas	36
2.2	SELECCIÓN DE LOS TRANSMISORES	38
2.3	SELECCIÓN DE LOS INDICADORES DIGITALES	40
2.4	BLOQUE SECO AMETEK JOFRA	41
2.5	SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	42
2.6	SELECCIÓN DE TUBO FLEXIBLE	43

2.7	SELECCIÓN REGULADOR DE PRESION	44
2.8	SELECCIÓN VÁLVULAS DE BLOQUEO	45
2.9	SELECCIÓN DE FILTROS (PARTÍCULAS, AGUA, ACEITE)	47
2.10	CONECTORES A UTILIZAR EN EL DISEÑO	48
2.11	SELECCIÓN DE BOMBA GENERADORA DE VACIO	52
2.12	SELECCIÓN DE LAS SERVOVALVULAS	53
<b>3.</b>	<b>MANUALES DE USUARIO Y GUIAS DE PRACTICA PARA LOS</b>	
	<b>TRABAJADORES DE PROPAL S.A.</b>	<b>54</b>
3.1	MANUAL DE OPERACIÓN	54
3.2	MANUAL DE MANTENIMIENTO	55
4.	CONCLUSIONES	56
5.	SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES	57
	BIBLIOGRAFIA	58
	ANEXOS	59

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Planteamiento de la misión	17
Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente	19
Tabla 3. Declaración de las métricas con sus necesidades	21
Tabla 4. Relación de las métricas con las necesidades	22
Tabla 5. Benchmarking	23
Tabla 6. Especificaciones preliminares	25
Tabla 7. Subfunciones críticas	29
Tabla 8. Los conceptos	29
Tabla 9. Combinación de conceptos	31
Tabla 10. Conceptos generados	32
Tabla 11. Tamizaje de conceptos	33
Tabla 12. Evaluación del concepto	34
Tabla 13. Especificaciones técnicas de diseño	36

## LISTADOS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Caja negra	26
Figura 2. Diagrama de funciones	27
Figura 3. Interacciones fundamentales	28
Figura 4. Exploración sistematizada	30
Figura 5. Conceptos generados	32
Figura 6. Prueba de conceptos	35
Figura 7. Selección de transmisores de presión	38
Figura 8. Selección de los indicadores digitales	40
Figura 9. Bloque seco Ametek Jofra	41
Figura 10. Fuente de voltaje Phoenix Contact	43
Figura 11. Tubo flexible	44
Figura 12. Regulador de presión	45
Figura 13. Válvulas de bloqueo	45
Figura 14. Selección de filtros (partículas, agua, aceite)	48
Figura 15. Conectores a utilizar en el diseño	48
Figura 16. Conectores a utilizar en el diseño	50
Figura 17. Conectores a utilizar en el diseño	51
Figura 18. Conectores a utilizar en el diseño	51
Figura 19. Bomba de vacío	52
Figura 20. Selección de las servovalvulas	53

Figura 21. Presión	64
Figura 22. Principio de pascal	64
Figura 23 Clases de presión	65
Figura 24. Error de posición	67
Figura 25. Error de cero	68
Figura 26. Error de multiplicación	69
Figura 27. Error de angularidad	70

## LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Marco teórico	59

## GLOSARIO

**ALCANCE (SPAN):** Es la diferencia entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

**CAMPO DE MEDIDA (RANGE):** Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad o de transmisión del instrumento.

**ERROR:** Es la diferencia entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable de medida.

**HISTÉRESIS (HYSTERESIS):** La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

**PRECISIÓN (ACCURACY):** La precisión es la tolerancia de medida o transmisión del instrumento y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio.

**REPETIBILIDAD (REPEATABILITY):** La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo.

**RESOLUCIÓN:** Magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida (Expresados en tanto por ciento de la salida de toda la escala) al ir variando continuamente la medida en todo el cambio.

**SENSIBILIDAD (SENSITIVITY):** Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

**ZONA MUERTA (DEAD ZONE O DEAD BAND):** Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

## RESUMEN

Este trabajo presenta el proceso de diseño de un banco de pruebas metrológicas y calibración para instrumentación de proceso garantizando cumplimiento de normas ISO 9.000.v 2.000, este diseño es esencialmente para la industria vallecaucana (Ingenios, papeleras, laboratorios de metrología, departamentos de mantenimiento...) y el sector educativo carente de equipos y espacios de trabajo que faciliten las calibraciones de la instrumentación de campo presente en los procesos industriales (transmisores de presión, manómetros, termómetros).

El diseño de este banco de calibración consta principalmente de una estructura modular fabricada en acero Inoxidable la cual esta compuesta por cajones elaborados en acero inox de fácil desmonte estos últimos serán los módulos de: servicios, presión alta, presión media y presión baja/vacío, dentro de esta estructura encontraremos reguladores de presión marca Swagelok/Festo según convenga su aplicación, transmisores de presión con salida 4-20 mA marca Rosemount (Suministrados por Propal) e indicadores digitales marca Red Lion (Pax) con entrada 4-20 mA, los cuales facilitan la visualización por parte de los operarios de Propal S.A. Lo anterior fue seleccionado utilizando el método estructurado de diseño Mecatrónico adoptado por la universidad en la materia de pregrado Diseño Mecatrónico 1 y 2.

Este informe cuenta con la documentación necesaria planos estructurales, esquemas neumáticos, esquemas eléctricos y esquemas de instrumentación para la fabricación de un banco de pruebas metrológicas y esta elaborado de acuerdo a las premisas y restricciones generadas por Propal S.A. las cuales serán tenidas en cuenta en el primer capítulo de este trabajo para llevar a cabo la solución integral en el diseño esperada por nuestro cliente.

## INTRODUCCION

Este documento presenta el diseño de un banco de pruebas metrológicas y calibración para instrumentación de proceso para garantizar cumplimiento de normas ISO 9.000.v 2.000 supliendo con las necesidades que actualmente cuenta la empresa Propal S.A. (Planta 1) (Presición, lugar de trabajo adecuado, tiempo de ejecución de trabajo). Este proyecto se realizó en las instalaciones de Metroinstruments E.U. Los recursos a utilizar serán dotados por la empresa Metroinstruments E.U. Para lograr el objetivo general del proyecto se utiizó el método de Ingeniería concurrente adaptado en la universidad Autónoma de Occidente para el plan de Ingeniería Mecatrónica con el nombre de “METODO DE DISEÑO MECATRONICO”.

En el proceso de mejoramiento de calidad en la industria Colombia es de vital importancia garantizar el buen desempeño de nuestras máquinas y nuestros productos. En este proyecto se llevará a cabo el diseño de un banco de pruebas metrológicas y calibración de instrumentos de procesos con el fin de mejorar las condiciones laborales de los trabajadores los cuales ejercen esta labor en un espacio no apto para este procedimiento. Este tipo procedimientos son fundamentales en una empresa la cual desea dar cumplimiento con la norma ISO 9000 V 2000 que garanticen la calidad de los productos elaborados por Propal S.A.

Los principales síntomas y necesidades encontradas por Propal S.A (Planta 1) para emprender con la construcción normalizada de los módulos son:

- Propal S.A. no se rige por sistemas de normalización ISO para sus productos. Solo por normas para la industria papelera.
- El Laboratorio de Instrumentación Industrial no cuenta con los equipos necesarios para la calibración de la instrumentación de campo de nueva generación.
- El banco existente de pruebas metrológicas en Propal S.A. no cuenta con las especificaciones necesarias para cumplimiento de normas ISO.
- Los altos tiempos de calibración de los instrumentos generan atrasos en las paradas de producción.

Lo anterior se justifica con los siguientes planteamientos:

- Implementando los sistemas de normalización obliga a Propal S.A a gestionar métodos de calibración de su instrumentación industrial, para eso se hace necesario contar con equipos y laboratorios para ejercer dicho procedimiento.

- Cumpliendo con los procedimientos metrológicos Propal S.A garantiza la buena calidad de sus productos y el buen desempeño en los procesos de producción.
- Por medio de calibraciones simultáneas se reduce los costos de mantenimiento, garantizando una periodicidad de calibración y la disminución del tiempo tomado por los instrumentistas.
- Calibrando oportunamente la instrumentación conlleva a mejorar los sistemas de seguridad en las líneas de producción.
- Al implementar un banco de calibración de la instrumentación se disminuyen los tiempos de parada de las maquinas y de proceso de Propal S.A.

Los objetivos específicos del proyecto se desarrollaran cada uno en forma de capitulo o como un anexo y son el norte de la investigación aplicada. Estos son:

- Establecer las necesidades especificas que se requieren para el diseño de un banco metrológico de pruebas.
- Analizar los bancos de pruebas existentes en la industrial con el fin de generar los conceptos necesarios para satisfacer las necesidades del cliente.
- Seleccionar los diferentes conceptos que resuelvan las especificaciones establecidas previamente.
- Elaborar las pruebas necesarias de los conceptos seleccionados anteriormente.
- Desarrollar el diseño previamente seleccionado teniendo en cuenta diferentes criterios técnicos económicos evaluando el impacto social y medio ambiental en la industria.
- Elaborar manuales de usuario y guías de práctica para los empleados de Propal S.A.
- Elaborar un artículo en formato IFAC el cual describa todo el proceso de desarrollo.

En el primer capitulo se puede observar el método de diseño concurrente (Ingeniería Básica) aplicado con el fin de determinar el concepto que cumpla con las especificaciones que el cliente solicita en nuestro caso la empresa Propal S.A. (Planta 1).

En el segundo capitulo se efectúa el diseño detallado teniendo en cuenta la instrumentación existente en Propal S.A., las restricciones en cuanto a marca homologadas con el fin de llevar a cabo el concepto que es seleccionado implementando el método de diseño, este tipo factores determinan el costo del banco de calibración.

El tercer y ultimo capitulo se especifican los manuales de usuario y las guías de laboratorio para dar a conocer el funcionamiento del banco

# 1. IMPLEMENTACION DEL METODO DE DISEÑO MECATRONICO PARA ESTABLECER LA NECESIDADES ESPECIFICAS QUE SE REQUIEREN PARA EL DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS METROLOGICAS Y CALIBRACIÓN PARA INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO GARANTIZANDO CUMPLIMIENTO DE NORMAS ISO 9.000.V 2.000

## 1.1 PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN DEL PRODUCTO

A continuación se presentará una breve descripción del planteamiento de la misión con el fin de establecer la visión del producto una descripción corta de este, los objetivos de marketing (lo que se espera cuando salga al mercado), establecer los mercados primarios y secundarios para nuestro producto y las premisas y restricciones que este conlleva.

Tabla 1. Planteamiento de la misión.

Descripción del producto	Diseño de un banco de pruebas metrológicas para calibración de la instrumentación de planta
Principales objetivos de marketing	Dar a conocer las virtudes de un banco de pruebas metrológicas en la industria Vallecaucana.
Mercado primario	Laboratorio de instrumentación Industrial en Propal planta 1 Laboratorios de metrología. Laboratorios de Instrumentación en la industria colombiana.
Mercado secundario	Entidades de educación Superior (Universidades e institutos).
Premisas y restricciones	El dispositivo debe ser de fácil operación. Para construir el dispositivo sólo se utilizaran marcas homologadas por Propal S.A. La fuente de presión será suministrada por una toma de aire industrial (presión media), para presiones altas estará dada por un cilindro de nitrógeno, para presiones bajas y vacío será suministrada por una bomba de vacío. El banco tendrá en cuenta la instrumentación que Propal S.A. dispone para efectuar el diseño. (Calibrador de Procesos Fluke, Bloque Seco Ametek, transmisores Rosemount). Equipo robusto y fiable a condiciones normales de trabajo.

Partes Implicadas	Facilidad de mantenimiento y reparación. Buena estética y seguridad (diseño industrial).. Departamento de Instrumentación industrial Propal planta 1 Estudiante de ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma. Proveedores.
-------------------	--

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

Para el óptimo diseño de un producto se debe tener en cuenta la identificación de las necesidades del cliente. Por esta razón se organizó una lista de necesidades donde se destacan tres grandes grupos; necesidades funcionales, necesidades estructurales y necesidades estéticas, luego se le dio un nivel de importancia a cada una de estas necesidades.

Por último la tabla muestra la identificación de las necesidades donde se traduce cada necesidad a un lenguaje técnico para luego poder analizarlas detalladamente.

## 1.3 LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE

### 1.3.1. Necesidades funcionales

- Se podrán visualizar los datos que se generan en las diferentes pruebas.
- Que sea de fácil manipulación.
- Que sea preciso.
- El banco de calibración contara con sistemas de calibración para presiones altas (100-3000 psi), medias (0-100 psi), bajas y vacío (0-29 psi) y temperatura (Tener en cuenta calibrador bloque seco, calibrador de procesos Fluke) teniendo en cuenta los equipos que Propal sugiere para su diseño.

### 1.3.2. Necesidades estructurales

- El banco de calibración podrá armarse fácilmente para su mantenimiento.
- La instrumentación será de fácil consecución.
- El banco de calibración contara con componentes de excelente calidad que garantizaran su buen funcionamiento independientemente del tiempo de uso.
- Facilidad para hacer mantenimiento.

- El material escogido para la estructura sea acorde a las exigencias de normatividad ISO.
- El banco deberá ser seguro en su operación.

### 1.3.3. Necesidades estéticas y económicas

- Que tenga buena presentación.
- Que su estructura sea fácil entendimiento.
- Se requiere que el banco tenga un consumo de corriente razonable.

La tabla a continuación nos muestra las especificaciones del producto describen lo que debe hacer el producto sin decir cómo.

Tabla 2. Identificación de las necesidades del cliente.

<b>Planteamiento del cliente</b>	<b>Identificación de las necesidades</b>
<b>Necesidades Funcionales</b>	
1. Se podrán visualizar los datos que se generan en las diferentes pruebas	Los datos se podrán ver por medio de interfases hombre maquina.
2. Que sea de fácil manipulación.	El banco de calibración tendrá manuales de usuario para su correcta manipulación.
3. Que sea preciso.	Llevara la instrumentación de acuerdo a la resolución requerida por el cliente.
4. El banco de calibración contara con sistemas de calibración para presiones altas, medias, bajas y temperatura teniendo en cuenta los equipos que Propal sugiere para su diseño.	El banco garantizara la calibración de la instrumentación de campo en Propal
<b>Necesidades Estructurales</b>	
5. El banco de calibración podrá armarse fácilmente.	El banco de calibración tendrá arquitectura modular
6. La instrumentación será de fácil consecución.	La instrumentación a utilizar estará acorde a las necesidades de Propal, será de fácil consecución por medio de sus proveedores.

7. El banco de calibración contara con componentes de excelente calidad que garantizaran su buen funcionamiento independientemente del tiempo de uso.	Los componentes que se utilizaran solo podrán ser los que Propal tiene homologado.
8. El equipo es de fácil reparación.	El equipo tendrá la facilidad para hacer mantenimiento
9. El material escogido para la estructura sea acorde a las exigencias de normatividad ISO.	Estará sujeto a la normatividad ISO vigente para la realización de laboratorios de metrología.
10. El banco deberá ser seguro en su operación.	Se considerara las prácticas o normas mas seguras y aplicables de acuerdo a la legislación nacional vigente
<b>Necesidades Estéticas y Económicas</b>	
11. Que tenga buena presentación.	De forma, colores y medidas llamativas.
12. Se requiere que el banco tenga un consumo de voltaje razonable	Estará acorde al promedio de aplicaciones industriales.
13. Que su estructura sea fácil de entender.	Será una estructura sencilla y funcional, debidamente etiquetada para el buen entendimiento.

#### 1.4 ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

La identificación del grado de importancia de las necesidades, nos permite saber cuales necesidades requieren de mayor atención en el proceso de diseño.

Tabla 3. Declaración de las métricas con sus necesidades.

# Métrica	#Necesidad	Métrica	Importancia	Unidad
1	5,8,9,11,13	Dimensiones Externas (Largo, alto, ancho)	3	m
2	1,2,5,4,3,13	Facilidades de uso	5	Subj
3	6,7,9	Confiabilidad del producto	5	%
4	5,7,8,13	Tiempo de ensamble/desensamble para mantenimiento	4	Hora
5	7,9,11	Estética	4	Subj.
6	5,6,8,13	Arquitectura modular	4	Lista 1
7	7,12	Horas continuas de trabajo	3	H
8	1,2,3,4	Eficiencia de operación	5	%
9	1,3	Interfaz usuario	4	Subj.
10	9,10	Seguridad manipulación	4	Subj
11	12	Fuente de alimentación	3	Vdc

**Lista 1:**

- Modulo de presión alta
- Modulo de presión media
- Modulo presión bajar
- Modulo temperatura

Tabla 4. Relación de las métricas con las necesidades

		Métrica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Dimensiones Externas	Facilidades de uso	Confiabilidad del producto	Tiempo de ensamble/desensamble para	Estética	Arquitectura modular	Horas continuas de trabajo	Eficiencia de operación	Interfaz usuario	Seguridad manipulación	Fuente de alimentación
	<b>Necesidades</b>	<b>Imp.</b>											
1	Se podrán visualizar los datos que se generan en las diferentes pruebas	5		5						5	5		
2	Que sea de fácil manipulación.	4		3						4			
3	Que sea preciso.	5		5						5	5		
4	El banco de calibración contara con sistemas de calibración para presiones altas, medias, bajas y temperatura teniendo en cuenta los equipos que Propal sugiere para su diseño.	5		5						5			
5	El banco de calibración podrá armarse fácilmente.	3	3	3		3		5					
6	La instrumentación será de fácil consecución.	4			3			3					
7	El banco de calibración contara con componentes de excelente calidad que garantizaran su buen funcionamiento independientemente del tiempo de uso.	5			5	3	4		5				
8	El equipo es de fácil reparación.	4	1			3		3					
9	El material escogido para la estructura sea acorde a las exigencias de normatividad ISO.	4	4		5			4				4	
10	El banco deberá ser seguro en su operación.	3										3	
11	Que tenga buena presentación.	4	3				4						
12	Se requiere que el banco tenga un consumo de voltaje razonable	1							1				1
13	Que su estructura sea fácil de entender.	3	1	4		4		5					
Total		563	44	108	57	48	52	54	26	91	50	32	1
Total		100%	7,8	19,2	10,1	8,5	9,2	9,6	4,6	16,2	8,9	5,7	0,2

Como se observa en la tabla anterior (**Tabla 4**) las necesidades más importantes para el cliente será la facilidad de uso y la eficiencia de operación, gracias a este método se obtendrá una mayor satisfacción del cliente.

## 1.5 BENCHMARKING

En este estudio se analiza detalladamente la satisfacción de las necesidades del cliente en productos competidores otorgando una calificación de 1 a 5, esto con la finalidad de diseñar un producto que cumpla con todas las necesidades del cliente y llene los espacios que la competencia ha dejado.

Tabla 5. Benchmarking.

Necesidad	Importancia	MCS-100 Beamex 	 MORGUI GPS	 System 7000
Se podrán visualizar los datos que se generan en las diferentes pruebas	5	5	5	5
Que sea de fácil manipulación.	4	4	4	4
Que sea preciso.	5	4	4	3
El banco de calibración contara con sistemas de calibración para presiones altas, medias, bajas y temperatura, teniendo en cuenta los equipos que Propal sugiere para su diseño.	5	4	3	3
El banco de calibración podrá armarse fácilmente.	3	4	3	3
La instrumentación será de fácil consecución.	4	1	1	3
El banco de calibración contara con componentes de excelente calidad que garantizaran su buen funcionamiento independientemente del tiempo de uso.	5	4	3	4

<b>Necesidad</b>	<b>Importancia</b>	MCS-100 Beamex 	MORGUI GPS 	System 7000 
El equipo es de fácil reparación.	4	1	1	1
El material escogido para la estructura sea acorde a las exigencias de normatividad ISO.	4	4	3	2
El banco deberá ser seguro en su operación.	4	4	4	4
Que tenga buena presentación.	4	4	3	2
Se requiere que el banco tenga un consumo de voltaje razonable	1	2	3	3
Que su estructura sea fácil de entender.	3	3	3	3

## 1.6 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES APLICADO A LAS MÉTRICAS BÁSICAS DE NUESTRO PROYECTO

Los anteriores análisis se han hecho teniendo en cuenta la mayor cantidad posible de necesidades y requerimientos para un banco de pruebas metrológicas y calibración para instrumentación de proceso, las especificaciones preeliminares serán las siguientes.

Tabla 6. Especificaciones preliminares.

# Métrica	# Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal	Especificaciones preliminares
1.	6,9,10	Dimensiones Externas (Largo,alto,ancho)	3	m	2 x 1.70 x 0.75	2 x 1.80 x 0.75	2 x 1.80 x 0.75
2.	10,8	Facilidades de uso	5	Subj	Facil	Muy Facil	Muy Fácil
3.	1	Confiabilidad del producto	5	%	100	100	100
4.	18,5	Tiempo de ensamble/desensamble para mantenimiento	4	Hora	2 1/2	2 1/2	3 1/2
5.	5	Estética	4	Subj.	B	E	E
6.	11	Arquitectura modular	4	Lista 1			
7.	5	Horas continuas de trabajo	3	H	7	8	12
8.	11,5,13	Eficiencia de operación	5	%	100	100	100
9.	1,2,3,9	Interfaz usuario	4	Subj.	B	E	E
10.	3,11	Seguridad manipulación	4	Subj	80	100	100
11.	12,7	Fuente de alimentación	3	Vdc			

B= BUENA            E=EXCELENTE

**Lista 1:**

- Modulo de presión alta
- Modulo de presión media.
- Modulo presión baja
- Modulo temperatura

## 1.7 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

Un concepto es una descripción precisa de cómo el producto tendrá en cuenta todas las necesidades del cliente, el cual es expresado por medio de un bosquejo o un modelo tridimensional aproximado y esta usualmente acompañado por una descripción textual corta.

**1.7.1. Clarificación del problema.** Desarrollo del entendimiento general u la ruptura del problema en subproblemas. Las entradas ideales para la generación de conceptos son el plan de ataque de mercadeo o planteamiento de la misión del producto, la lista necesidades del cliente y las especificaciones preliminares.

**1.7.2. Descomposición del problema.** Resulta útil considerar un banco de pruebas metrológicas como una composición de varios retos pequeños, por lo que se identifica como una caja negra, con sus respectivas entradas y salidas características de este problema específico, donde la línea azul representa la transferencia y conversión de energía, la línea roja denota el material en el sistema y la línea verde representa el flujo de control y señales de reacción entre los sistemas. Esta caja negra, representa la función global.

Figura1. Caja negra

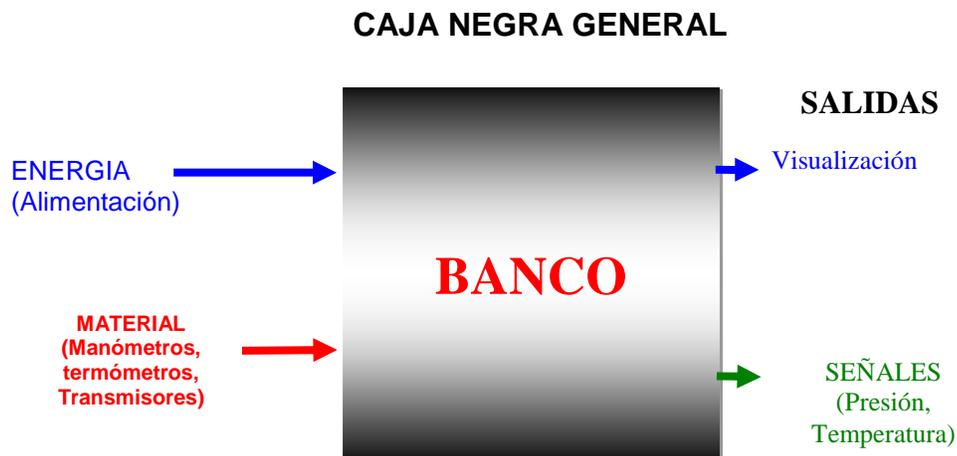
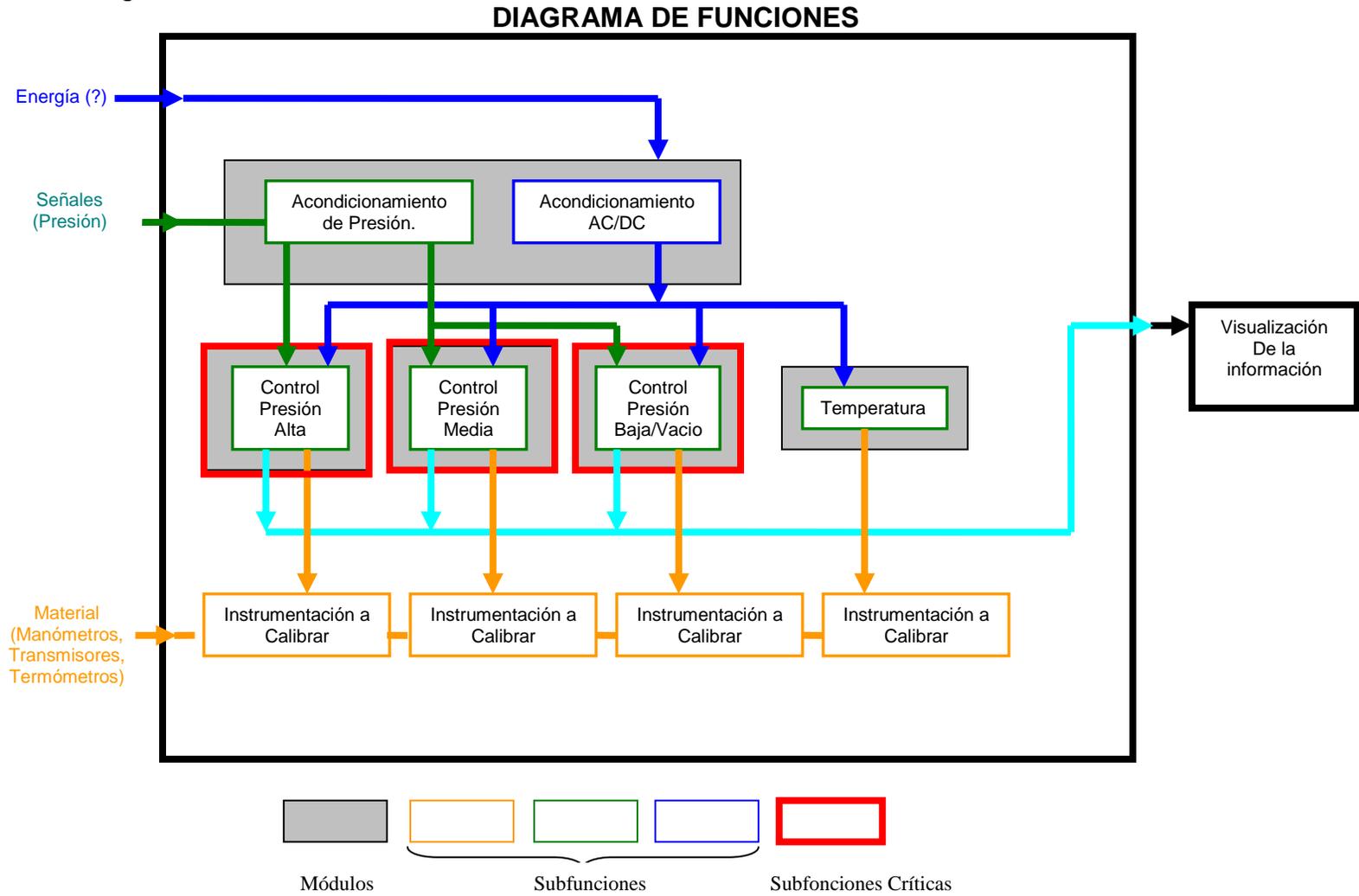


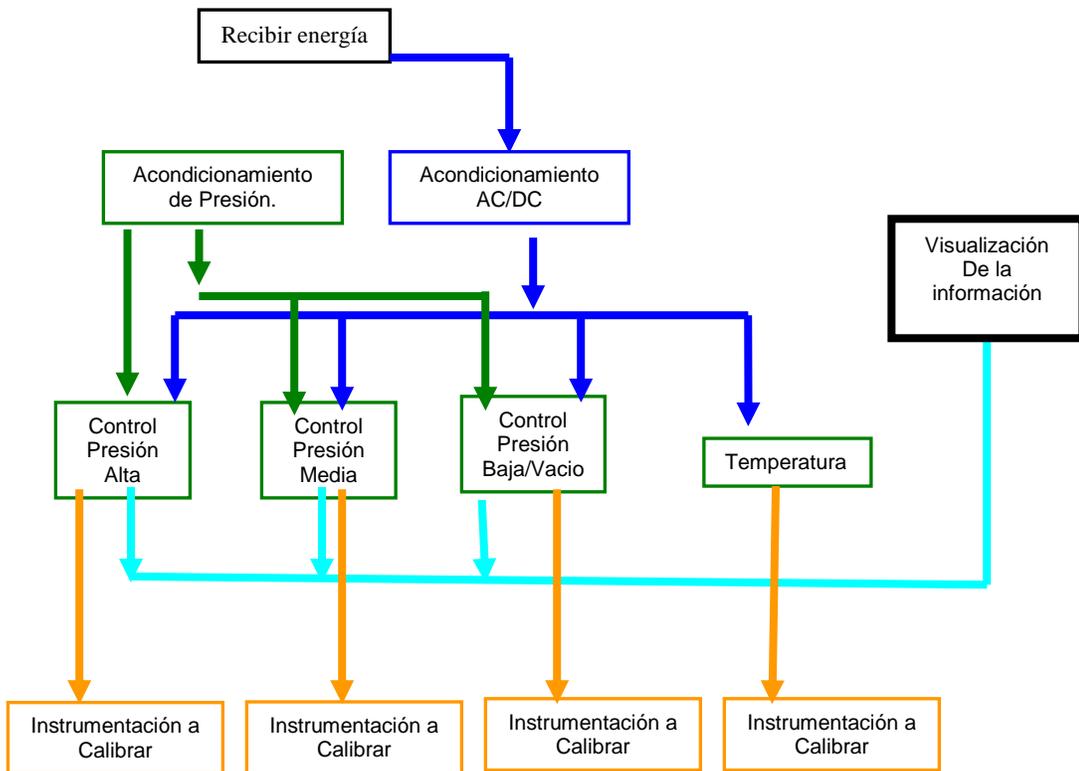
Figura 2. Diagrama de funciones



## 1.8 INTERACCIONES FUNDAMENTALES.

Estas son las relaciones entre las subfunciones, donde las uniones azules indican relaciones de energía, las uniones verdes la relación de señales (Fuente generadoras de presión) y uniones naranja relaciones con material (Instrumentación), las uniones de color cian representan la señal a visualizar por parte del operario. Estas proveen información acerca de las interacciones del sistema para definir los posibles módulos y las conexiones que se presentan entre ellos.

Figura 3. Interacciones fundamentales



## 1.9 ESTABLECIMIENTO DE LAS SUBFUNCIONES CRÍTICAS

Tabla 7. Subfunciones criticas.

### Módulo Acondicionamiento AC/DC

El banco de calibración contara con alimentación regulada 110 VAC, debido al biotipo de la instrumentación se hace necesario convertir este voltaje a 24 VDC

### Acondicionamiento de Presión

El banco necesitara de un fuente de presión para calibración de la instrumentación. se hace necesario filtrar este tipo de aire para no afectar la instrumentación a calibrar

<p><b>Control Presión Alta (Modulo)</b> Este procedimiento es de vital importancia pues es este el que me permite calibrar la instrumentación de 100 - 3000 psi</p>	<p><b>Control Presión Media (Modulo)</b> Este procedimiento es de vital importancia pues es este el que me permite calibrar la instrumentación 0-100 psi</p>
<p><b>Control Presión Baja/Vacío (Modulo)</b> La presión es este modulo oscilara entre 0-29 psi, vacío entre 0 y -28 " Hg</p>	<p><b>Temperatura (Modulo)</b> Se tendrá en cuenta el diseño para la instrumentación que Propal S.A recomienda para este modulo</p>
<p><b>Visualización de la información</b> Es de alta importancia ya que permite la visualización del instrumento patrón para efectuar la comparación con la instrumentación de campo</p>	

## 1.10 BUSQUEDA DE LA SOLUCION

Posibles soluciones a pequeños problemas.

Tabla 8. Los conceptos

### Sistema de control para presión alta.

Hidráulica  
Neumática  
Gas (Nitrógeno)

### Sistema de control Presión Media.

Neumática  
Bomba Comparadora.  
Hidráulica

**Sistema de control Presión Temperatura.**

**Baja/Vacío.**

Pesos Muertos

Neumática

Hidráulica

Bomba generadora de vacío

**Visualización de la Información.**

Panel touch screen

PC (Software de adquisición de datos).

Indicadores digitales

Indicador análogo

Bloque Seco

Calibrador de Procesos

Baños Termostatico

**1.11 EXPLORACION SISTEMATIZADA**

Árbol de clasificación: Divide todas las posibles soluciones en varias clases, facilitando la comparación y la eliminación.

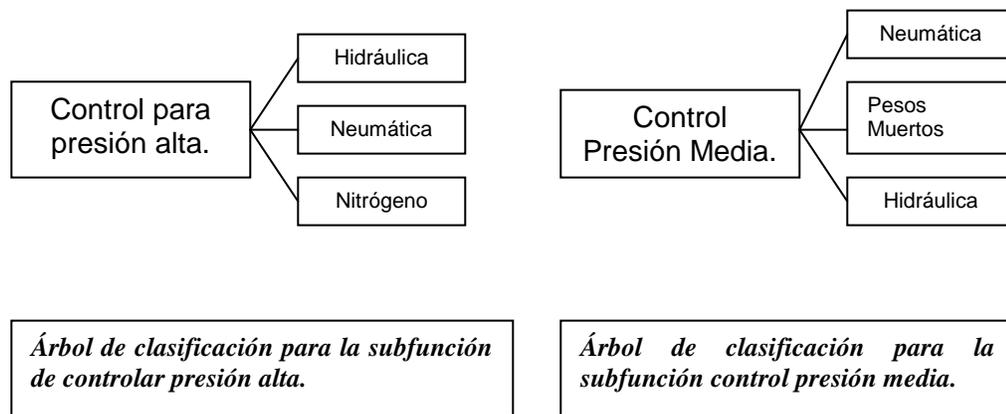
Podar las ramas menos promisorias: Se eliminan las soluciones que para el equipo tienen menos merito, enfocándose en las ramas mas promisorias.

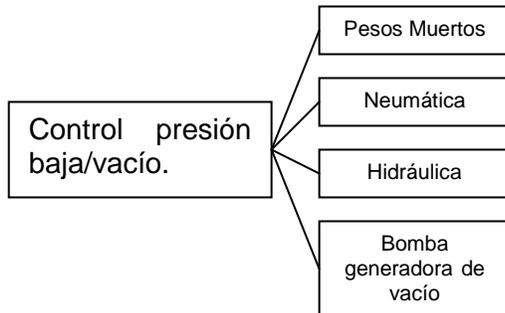
Identificación de los acercamientos al problema.

Poner en evidencia la falta de atención en ciertas ramas.

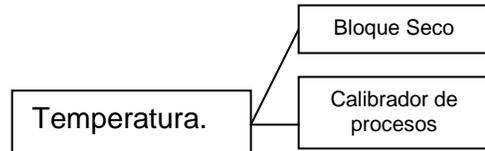
Refinamiento de la descomposición del problema para cada rama.

Figura 4. Exploración sistematizada

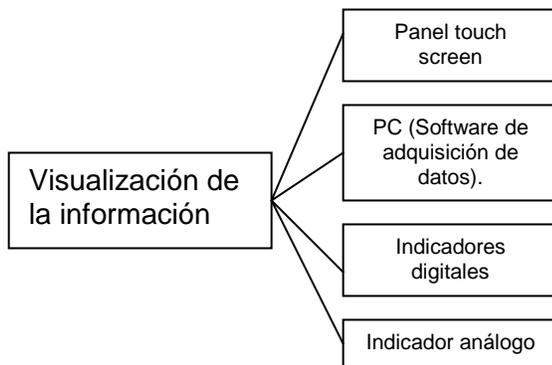




*Árbol de clasificación para la subfunción control presión Baja/Vacío.*

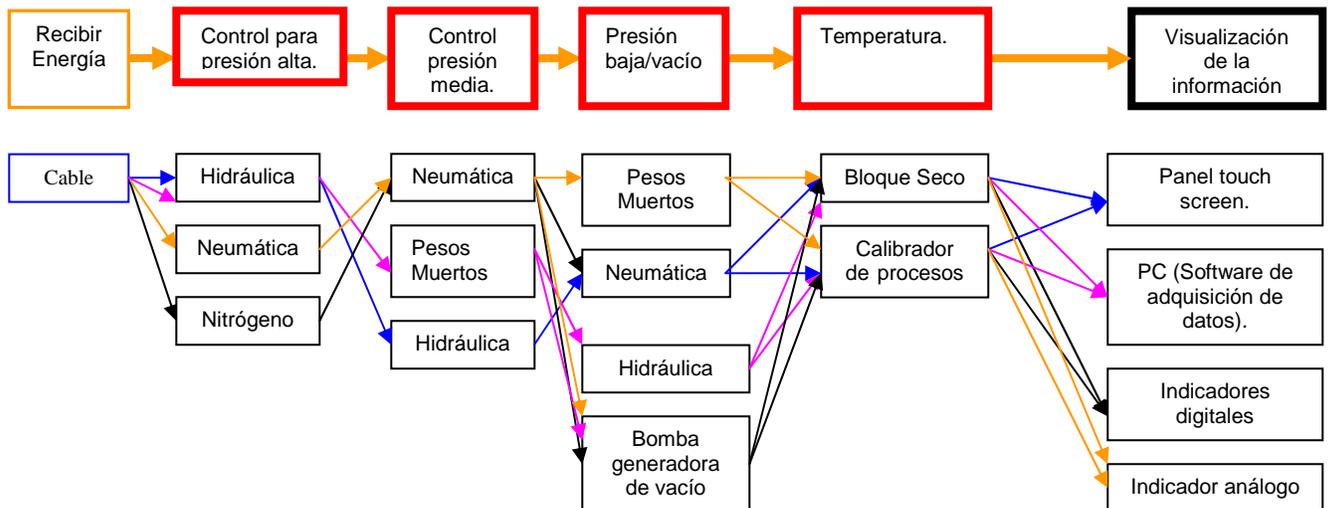


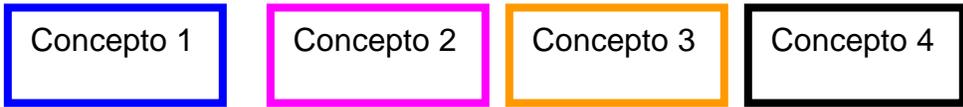
*Árbol de clasificación para la subfunción control de temperatura.*



*Árbol de clasificación para la subfunción visualización de la información.*

Tabla 9. Combinación de conceptos





Los conceptos generados son los siguientes:

Posibles elementos a utilizar para los siguientes conceptos.

Tabla 10. Conceptos generados.

Conceptos	Recibir energía	Control presión alta.	Control presión media.	Presión baja/vacío	Temperatura.	Visualización de la información
1	Cable	Hidráulica	Hidráulica	Neumática	Bloque seco Calibrador de Procesos	Panel Touch Screen
2	Cable	Pesos Muertos	Pesos Muertos	Hidráulica Bomba generadora de vacío	Bloque seco Calibrador de Procesos	PC (Software de adquisición de datos).
3	Cable	Neumática	Neumática	Pesos Muertos Bomba generadora de vacío	Bloque seco Calibrador de Procesos	Indicador análogo
4	Cable	Nitrógeno	Neumática	Neumática Bomba generadora de vacío	Bloque seco Calibrador de Procesos	Indicadores digitales

Figura 5. Conceptos generados



## 1.12 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Todas las fases tempranas del desarrollo de un producto tienen gran influencia en el eventual éxito de este. Claramente la respuesta del mercado a un producto, depende críticamente del concepto del producto, influenciado también por la facilidad de manufactura y costo de producción, por ello la utilización de un método estructurado para la selección de conceptos, en donde todas estas variables son tomadas en cuenta.

### 1.12.1. Matriz para el tamizaje de conceptos. Banco de pruebas metrologías.

Convenciones: + → Mejor que... - → Peor que... 0 → Igual que...

Se tomó como referencia el **banco de pruebas metrologías (Workstation) elaborado por BEAMEX (MCS-100)** por ser el banco más competitivo dentro de nuestro Benchmarking además de tener en cuenta todos los criterios fundamentales para la calibración de instrumentación industrial.

Tabla 11. Tamizaje de conceptos.

Criterios					Referencia
	1	2	3	4	MCS-100
Dimensiones Externas (Largo, alto, ancho)	0	0	0	0	0
Facilidades de uso	+	0	0	+	0
Confiabilidad del producto	0	+	+	0	0
Tiempo de ensamble/desensamble para mantenimiento	+	+	0	0	0
Estética	0	0	0	-	0
Arquitectura modular	-	-	-	0	0
Horas continuas de trabajo	0	0	0	+	0
Eficiencia de operación	-	+	+	0	0
Interfaz usuario	+	0	-	0	0
Seguridad manipulación	-	-	-	+	0
Fuente de alimentación	0	0	0	0	0
Costos	+	-	-	+	0
<b>Suma Positivos</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	

<b>Suma Negativos</b>	3	3	4	1	
<b>Suma Iguales</b>	5	6	6	7	
<b>Total</b>	1	0	-2	3	
<b>Orden</b>					
<b>¿Continuara?</b>	SI	NO	NO	SI	

**1.12.2. Matriz para la evaluación de conceptos.** Evaluación de las combinaciones que pasaron en el proceso de tamizaje.

Tabla 12. Evaluación del concepto.

<b>Criterios</b>	<b>% Pond.</b>	<b>1</b>		<b>4</b>		<b>Referencia MSC-100</b>	
		<b>Nota</b>	<b>Crit.</b>	<b>Nota</b>	<b>Crit.</b>	<b>Nota</b>	<b>Crit.</b>
Dimensiones Externas (Largo,alto,ancho)	5	3	0,15	4	0,2	5	0,25
Facilidades de uso	5	4	0,20	4	0,2	4	0,2
Confiabilidad del producto	10	4	0,40	5	0,5	5	0,5
Tiempo de ensamble/desensamble para mantenimiento	10	2	0,20	3	0,3	4	0,4
Estética	10	4,5	0,45	4	0,4	5	0,5
Arquitectura modular	10	3	0,30	4	0,4	5	0,5
Horas continuas de trabajo	5	4	0,20	3	0,15	4,5	0,225
Eficiencia de operación	20	4	0,80	4	0,8	4	0,8
Interfaz usuario	5	5	0,25	3	0,15	4	0,2
Seguridad manipulación	10	3	0,30	3	0,3	4	0,4
Fuente de alimentación	5	1	0,05	3	0,15	4	0,2
Costos	5	2	0,10	3	0,15	1	0,05
<b>Total</b>		3.40		3.70		4.23	
<b>Orden</b>		2		1			
<b>¿Continuara?</b>		<b>NO</b>		<b>DESARROLLAR</b>			

En el capítulo siguiente observaremos el diseño detallado de este proyecto teniendo en cuenta las restricciones que nos impuso nuestro cliente en cuanto a la instrumentación a seleccionar.

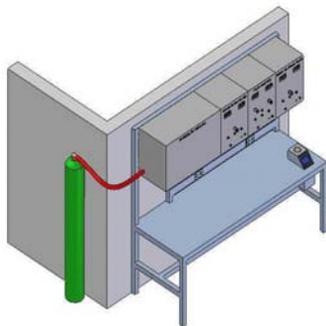
## 2. IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA DE DETALLE CON LOS RESULTADOS ARROJADOS POR EL MÉTODO DE DISEÑO MECATRONICO

### 2.1 PRUEBA DE CONCEPTOS

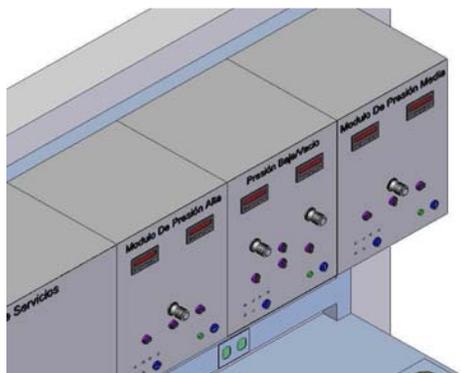
El propósito de la prueba del concepto es poner a juicio del cliente, la solución planteada, para que sean ellos quienes identifiquen si sus necesidades son cumplidas a cabalidad, esta prueba de conceptos se realizo por medio de criterios pasa/no pasa, donde se tomo cada una de las subfunciones y se hizo una serie de pruebas para comprobar la viabilidad del concepto seleccionado.

El concepto seleccionado fue el 4 ya que cumplía con todas las necesidades del cliente, para la realización de este concepto se tendrá en cuenta el tipo de instrumentación acorde a el concepto seleccionado instrumentación para presión alta (Nitrógeno), presión media (neumática), presión baja y vacío (bombas generadoras de vacío), cada modulo con su respectiva indicación digital.

Figura 6. Prueba de conceptos



Vista  
General



Vista  
Módulos

**2.1.2. Especificaciones finales de diseño.** Diseño de un banco de pruebas metrológicas y calibración de instrumentos de procesos con el fin de dar cumplimiento con la normatividad ISO mejorando las condiciones laborales de los trabajadores.

Tabla 13 Especificaciones técnicas de diseño.

# Métrica	# Necesidad	Métrica	Importancia	Unidades	Valor
1.	6,9,10	Dimensiones Externas (Largo,alto,ancho)	3	m	2 x 1.70 x 0.75
2.	10,8	Facilidades de uso	5	Subj	Muy Facil
3.	1	Confiabilidad del producto	5	%	100
4.	18,5	Tiempo de ensamble/desensamble para mantenimiento	4	Hora	2 1/2
5.	5	Estética	4	Subj.	E
6.	11	Arquitectura modular	4	Lista 1	Lista 1
7.	5	Horas continuas de trabajo	3	H	6
8.	11,5,13	Eficiencia de operación	5	%	100
9.	1,2,3,9	Interfaz usuario	4	Subj.	E
10.	3,11	Seguridad manipulación	4	Subj	100
11.	12,7	Fuente de alimentación	3	Vdc	

**Lista 1:**

- Modulo de presión alta.
- Modulo de presión media.
- Modulo presión bajar.
- Modulo temperatura.

**2.1.3. Diseño detallado:** Como parte de diseño a nivel del sistema, el diseño detallado se presenta como la fase en la que los conceptos seleccionados, comienzan a hacerse tangibles, de tal manera que los subsistemas físicos y/o funcionales toman la forma que darán vida al banco de pruebas metrológicas.

Debido a políticas internas de Propal S.A. en el diseño del banco solo se podrán utilizar marcas las cuales estén homologadas por la empresa y por los ingenieros

de planta, por este motivo se hace necesario elaborar un listado de estas para la implementación del diseño detallado.

#### **2.1.4 Marcas Homologadas**

Neumática:

- Festo.
- Swagelok.
- Norgren.

Conectores/ Fuentes Alimentación.

- Phoenix Contact.
- Siemens.
- Abb.
- Allen Bradley.
- Merlín Gerin.

Reguladores.

- Ashcroft.
- Fairchild.
- Festo.
- Norgren.

Transmisores (Sugerido por Propal S.A.)

- Rosemount 3051 (Salida 4-20mA).

Indicador digital

- Red Lion.
- Siemens.
- Allen Bradley.

Por medio del método de diseño que fue utilizado, se genero el concepto necesario para la implementación del banco y con este los sistemas de control para la implementación del banco tales como:

Suministro de presiones.

**Presión alta:** Esta será suministrada por una pipa de Nitrógeno (0-3000 PSI).

**Presión Media:** Será suministrada por una toma de aire Industrial.

**Presión Baja/Vacío:** Estará suministrada por una bomba generadora de vacío marca Baldor.

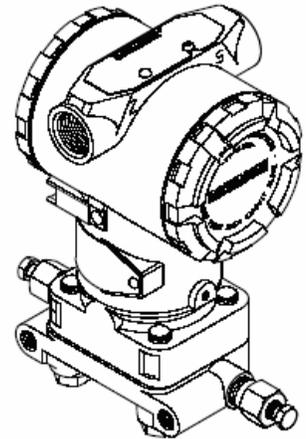
## 2.2 SELECCIÓN DE LOS TRANSMISORES

Esta ya establecido que para efectuar la calibración de la instrumentación se hace necesario contar con un transmisor el cual permita manejo de las presiones mencionadas anteriormente, con el fin de estandarizar el proceso de calibración se deberá optar por un transmisor que abarque los todos los rangos que actualmente se manejan. Cada equipo deberá estar Certificado y sujeto a trazabilidad NIST para poder ser utilizado como un patrón (Este transmisor lo suministra Propal S.A. y esta impuesto dentro de las premisas y restricciones del diseño).

Figura 7. Selección de transmisores de presión

### Modelo 3051C de Rosemount para presión diferencial, manométrica y absoluta

- Rendimiento con una precisión de hasta 0,04%
- Cinco años de estabilidad instalada de 0,125%
- La plataforma *Coplanar* admite manifold integrado, elemento primario y sello de diafragma.
- Spans/rangos calibrados entre 0,25 mbar y 276 bar (0.1 inH<sub>2</sub>O a 4000 psi)
- Aislantes de proceso de acero inoxidable 316L, *Hastelloy*<sup>®</sup> C276, *Monel*<sup>®</sup>, tántalo, *Monel* bañado en oro o acero inoxidable 3136L bañado en oro



## Modelos 3051C (Rangos 2–5) y 3051T (Rangos 1–4) de Rosemount

### Precisión de referencia

±0,065% de span

±0,04% de span (opción de alta exactitud)

### Funcionamiento total

±0,15% de span; para cambios de temperatura de ±28 °C (50 °F), hasta 6,9 MPa (1000 psi) de presión de tubería (CD solamente), desde un rango descendente de 1:1 a 5:1.

### Estabilidad

±0,125% del límite superior del rango (URL) por 5 años para cambios de temperatura de ±28 °C (50 °F), y hasta 6,9 MPa (1000 psi) de presión en la tubería.

### Tiempo de respuesta total del funcionamiento dinámico (T<sub>d</sub>)

Salida HART: 100 ms

Salida Fieldbus y Profibus: 152 ms

Límites de Rango y Sensor de los modelos 3051CD, 3051CG, 3051L y 3051H

Rango	Span mínimo			Límites de rango y sensor				
	3051CD <sup>(1)</sup> , CG, L, H	Superior (URL)	Diferencial 3051C	Manométrica 3051C	Diferencial 3051L	Manométrica 3051L	Diferencial 3051H	Manométrica 3051H
0	0,25 mbar (0,1 inH <sub>2</sub> O)	7,47 mbar (3,0 inH <sub>2</sub> O)	-7,47 mbar (-3,0 inH <sub>2</sub> O)	NA	NA	NA	NA	NA
1	1,2 mbar (0,5 inH <sub>2</sub> O)	82,3 mbar (25 inH <sub>2</sub> O)	-82,3 mbar (-25 inH <sub>2</sub> O)	-82,3 mbar (-25 inH <sub>2</sub> O)	NA	NA	NA	NA
2	6,2 mbar (2,5 inH <sub>2</sub> O)	0,62 bar (250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)	-0,62 bar (-250 inH <sub>2</sub> O)
3	24,9 mbar (10 inH <sub>2</sub> O)	2,49 bar (1000 inH <sub>2</sub> O)	-2,49 bar (-1000 inH <sub>2</sub> O)	34,5 mbar abs (0,5 psia)	-2,49 bar (-1000 inH <sub>2</sub> O)	34,5 mbar abs (0,5 psia)	-2,49 bar (-1000 inH <sub>2</sub> O)	34,5 mbar abs (0,5 psia)
4	0,20 bar (3 psi)	20,6 bar (300 psi)	-20,6 bar (-300 psi)	34,5 mbar abs (0,5 psia)	-20,6 bar (-300 psi)	34,5 mbar abs (0,5 psia)	-20,6 bar (-300 psi)	34,5 mbar abs (0,5 psia)
5	1,38 bar (20 psi)	137,9 bar (2000 psi)	-137,9 bar (-2000 psi)	34,5 mbar abs (0,5 psia)	NA	NA	-137,9 bar (-2000 psi)	34,5 mbar abs (0,5 psia)

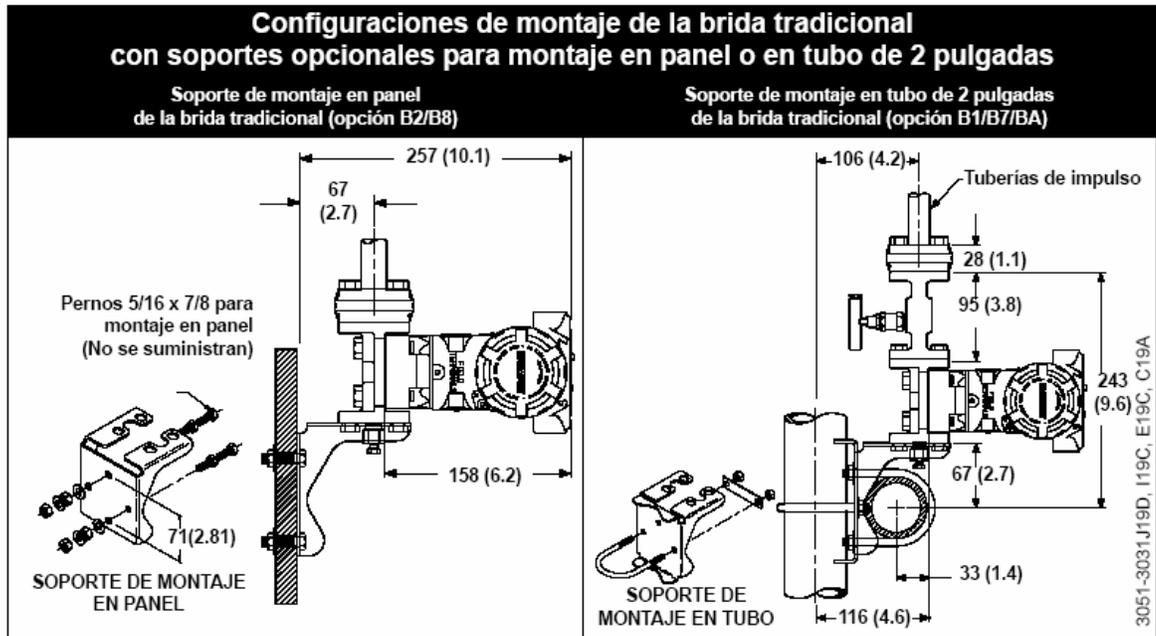
(1) El rango 0 sólo está disponible con el modelo 3051CD. El rango 1 sólo está disponible con los modelos 3051CD ó 3051CG.

Límites de rango y sensor

Rango	3051CA		
	Span mínimo	Superior (URL)	Inferior (LRL)
1	20,6 mbar (0,3 psia)	2,07 bar (30 psia)	0 bar (0 psia)
2	0,103 bar (1,5 psia)	10,3 bar (150 psia)	0 bar (0 psia)
3	0,55 bar (8 psia)	55,2 bar (800 psia)	0 bar (0 psia)
4	2,76 bar (40 psia)	275,8 bar (4000 psia)	0 bar (0 psia)

Rango	3051T			
	Span mínimo	Superior (URL)	Inferior (LRL)	Inferior <sup>(1)</sup> (LRL) (Manómetro)
1	20,6 mbar (0,3 psi)	2,07 bar (30 psi)	0 bar (0 psia)	-1,01 bar (-14,7 psig)
2	0,103 bar (1,5 psi)	10,3 bar (150 psi)	0 bar (0 psia)	-1,01 bar (-14,7 psig)
3	0,55 bar (8 psi)	55,2 bar (800 psi)	0 bar (0 psia)	-1,01 bar (-14,7 psig)
4	2,76 bar (40 psi)	275,8 bar (4000 psi)	0 bar (0 psia)	-1,01 bar (-14,7 psig)
5	137,9 bar (2000 psi)	689,4 bar (10000 psi)	0 bar (0 psia)	-1,01 bar (-14,7 psig)

(1) Se supone una presión atmosférica de 14,7 psig.



Fuente: Transmisores de presión Rosemount [en línea]. St. Louis, Missouri: Emerson Corporate, 2005. [Consultado 20 de Julio 2006]. Disponible en Internet: <http://www.emersonprocess.com/rosemount/products/pressure/m3051.html>

### 2.3 SELECCIÓN DE LOS INDICADORES DIGITALES.

Los indicadores digitales seleccionados fueron los de la marca Red León, esto se debió a los costos del equipo, su facilidad de operación frente a los de la competencia.

Figura 8. Selección de los indicadores digitales

#### MODEL PAX – 1/8 DIN ANALOG INPUT PANEL METERS



- PROCESS, VOLTAGE, CURRENT, TEMPERATURE, AND STRAIN GAGE INPUTS
- 5-DIGIT 0.56" RED SUNLIGHT READABLE DISPLAY
- VARIABLE INTENSITY DISPLAY
- 16 POINT SCALING FOR NON-LINEAR PROCESSES
- PROGRAMMABLE FUNCTION KEYS/USER INPUTS
- 9 DIGIT TOTALIZER (INTEGRATOR) WITH BATCHING
- OPTIONAL CUSTOM UNITS OVERLAY W/BACKLIGHT
- FOUR SETPOINT ALARM OUTPUTS (W/OPTION CARD)
- COMMUNICATION AND BUS CAPABILITIES (W/OPTION CARD)
- RETRANSMITTED ANALOG OUTPUT (W/OPTION CARD)
- CRIMSON PROGRAMMING SOFTWARE
- NEMA 4X/IP65 SEALED FRONT BEZEL

#### SENSOR INPUTS:

INPUT (RANGE)	ACCURACY* (18 to 28°C)	ACCURACY* (0 to 50°C)	IMPEDANCE/ COMPLIANCE	MAX CONTINUOUS OVERLOAD	DISPLAY RESOLUTION
20 mA (-2 to 26 mA)	0.03% of reading +2 $\mu$ A	0.12% of reading +3 $\mu$ A	20 ohm	150 mA	1 $\mu$ A
10 VDC (-1 to 13 VDC)	0.03% of reading +2 mV	0.12% of reading +3 mV	500 Kohm	300 V	1 mV

\* After 20 minute warm-up. Accuracy is specified in two ways: Accuracy over an 18 to 28°C and 10 to 75% RH environment; and accuracy over a 0 to 50°C and 0 to 85%RH (non-condensing environment). Accuracy over the 0 to 50°C range includes the temperature coefficient effect of the meter.

#### EXCITATION POWER:

Transmitter Power: 24 VDC,  $\pm$ 5%, regulated, 50 mA max.

Fuente: Indicadores digitales [en línea]. York, Pennsylvania: Red Lion Controls, 2006. [Consultado 15 de Agosto 2006]. Disponible en Internet: <http://www.redlion.net/Products/DigitalandAnalog/DigitalPanelMeters/DCVolt/PAXD.html>

## 2.4 BLOQUE SECO AMETEK JOFRA

El departamento de instrumentación de Propal S.A, dispone de un bloque seco modelo DKCTC650 A, el cual será utilizado como un medio para la simulación de temperatura a termómetros, termocuplas, RTD. Este equipo cuenta con certificado de calibración.

Se recomienda utilizar un termómetro patrón con certificado de calibración, para efectuar el método de calibración por comparación.

Figura 9. Bloque seco Ametek Jofra



Mains specifications	
Voltage CTC-140/320/650/1200	115V(90-127) / 230V(180-254)
Voltage CTC-650 B	115V(105-127) / 230V(210-254)
Frequency, non US deliveries	50 Hz $\pm$ 5, 60 Hz $\pm$ 5
Frequency, US deliveries	60 Hz $\pm$ 5
Power consumption (max.) CTC-140 A	150 VA
Power consumption (max.) CTC-320 B	600 VA
Power consumption (max.) CTC-1200 A	650 VA
Power consumption (max.) CTC-320 A / 650 A/B	1150 VA

Temperature range	
CTC-140 A	
Maximum	140°C / 284°F
Minimum @ ambient temp.	0°C / 32°F
Minimum @ ambient temp. 23°C / 73°F	-30°C / -22°F
Minimum @ ambient temp. 40°C / 104°F	-17°C / 1°F
CTC-320 A/B	-2°C / 28°F
CTC-650 A/B	33 to 320°C / 91 to 608°F
CTC-1200 A	33 to 650°C / 91 to 1202°F
CTC-320 A	300 to 1205°C / 572 to 2200°F

Resolution (user-selectable)	
Selectable	1° or 0.1°C/°F

Stability	
CTC-140 A	$\pm$ 0.05°C / 0.09°F
CTC-320 A/B	$\pm$ 0.1°C / 0.18°F
CTC-650 A / 1200 A	$\pm$ 0.1°C / 0.18°F
CTC-650 B	$\pm$ 0.05°C / 0.09°F

Measured after the stability indicator has been on for 10 minutes. Measuring time is 30 minutes.

Time to stability (approximate)	
CTC-140 A	5 minutes
CTC-320/650 A/B	8 minutes
CTC-1200 A	20 minutes

Accuracy	
CTC-140 A	$\pm$ 0.4°C / 0.7°F
CTC-320 A/B	$\pm$ 0.5°C / 0.9°F
CTC-650 A	$\pm$ 0.9°C / 1.62°F
CTC-650 B	$\pm$ 0.6°C / 1.08°F
CTC-1200 A	$\pm$ 2.0°C / 3.6°F

Specification when using the internal reference. (Load 4 mm OD reference probe in the center of the insert).

Immersion depth	
CTC-140 A (insulation included)	115 mm / 4.5 in
CTC-320 A / CTC-650 A / CTC-1200 A	110 mm / 4.3 in
CTC-320 B / CTC-650 B	190 mm / 7.5 in

Well diameter	
CTC-140	19.2 mm / 0.76 in
CTC-320 / CTC-650	26 mm / 1.0 in
CTC-1200	27 mm / 1.6 in

Heating time	
CTC-140 A	
-17 to 23°C / 1 to 73°F	3 minutes
23 to 140°C / 73 to 284°F	15 minutes
CTC-320 A	
23 to 320°C / 73 to 608°F	4 minutes
CTC-650 A	
23 to 650°C / 73 to 1202°F	10 minutes
CTC-320 B	
23 to 320°C / 73 to 608°F	20 minutes
CTC-650 B	
23 to 650°C / 73 to 1202°F	39 minutes
CTC-1200 A	
23 to 1205°C / 73 to 2200°F	45 minutes

Cooling time	
CTC-140 A	
100 to 0°C / 212 to 32°F	10 minutes
0 to -15°C / 32 to 5°F	16 minutes
140 to 100°C / 284 to 212°F	2 minutes
CTC-320 A	
320 to 100°C / 608 to 212°F	16 minutes
CTC-650 A	
650 to 100°C / 1202 to 212°F	28 minutes
CTC-320 B	
320 to 100°C / 608 to 212°F	22 minutes
CTC-650 B	
650 to 100°C / 1202 to 212°F	65 minutes
CTC-1200 A	
1205 to 300°C / 2200 to 572°F	120 minutes

Switch input (dry contact)	
Test voltage	Maximum 5 VDC
Test current	Maximum 2.5 mA

- JOFRACAL software**
- Minimum hardware requirements for JOFRACAL calibration software.
- INTEL™ 486 processor (PENTIUM™ 800 MHz recommended)
  - 32 MB RAM (64 MB recommended)
  - 80 MB free disk space on hard disk prior to installation
  - Standard VGA (800 x 600, 16 colors) compatible screen (1024 x 786, 256 colors recommended)
  - CD-ROM drive for installation of the program
  - 1 free RS232 serial port



Fuente: Bloque seco [en línea]. Alleroed, Denmark: Ametek Jofra, 2006. [Consultado 25 de Agosto 2006]. Disponible en Internet: <http://www.jofra.com/sw112.asp>

## 2.5 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación del banco de pruebas metrologicas será de marca Phoenix Contact a 24 VDC a 10 A. lo que me garantiza el correcto funcionamiento de los transmisores, indicadores y demás componentes del banco, este amperaje se debe ya que regularmente se utilizaran transmisores de presión para ser

calibrados en el banco. Propal S.A. recomienda este tipo de fuente con un amperaje elevado.

Figura 10. Fuente de voltaje Phoenix Contact



Fuente de alimentación, conmutada en primario, monofásica, salida: 24 V DC / 10 A, para la zona expuesta a explosión

Fuente: Fuentes de voltaje [en línea]. Westphalia, Lippe: Phoenix Contact, 2006. [Consultado 20 de Agosto 2006]. Disponible en Internet: [http://www.phoenixcontact.com/global/products/2953\\_5480.htm](http://www.phoenixcontact.com/global/products/2953_5480.htm)

## 2.6 TUBO FLEXIBLE

El Tubo flexible o manguera de conexión para la parte neumática es el siguiente solo NO aplica para presiones Altas para las presiones altas utilizaremos tubo de  $\frac{1}{4}$  de diámetro en acero Inox 3/16.

Figura 11. Tubo flexible

<b>Tubo de material sintético</b>	
<b>PUN-E-6x0,8-SI</b>	
apropiado para racores QS, muy flexible, resistente a hidrólisis y a microbios, no homologado para la producción de alimentos.	
<b>Caracter.</b>	<b>Propiedades</b>
Diámetro exterior	6 mm
Diámetro interior	4,4 mm
Radio máximo de curvatura	45 mm
Presión de funcionamiento	-0,95 - 8 bar
Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar Aire filtrado y lubricado
Temperatura ambiente	-35 - 50 °C
Peso del producto según la longitud	0,018 kg/m
Color	Plateado
Dureza Shore	52 +/- 3
Indicación sobre el material	sin cobre y teflón
Información sobre el material del tubo flexible	TPE-U(PU)



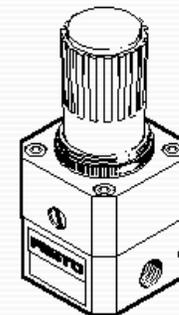
Fuente: Festo el catalogo de neumática [2 CD-ROM]. Esslingen: Festo AG & Co, 2004. Tubo Flexible:

## 2.7 REGULADOR DE PRESIÓN

Este dispositivo permite regular la presión de tal forma que puedo hacer variaciones muy pequeñas para efectuar la comparación y con esto obtener una mayor presesión al momento de generar la presión correspondiente de cada modulo.

Figura 12. Regulador de presión

Regulador de presión de precisión LRP-1/4-0,7	
 <p>sin manómetro. Utilizar con este producto el manómetro de precisión adecuado tipo MAP o FMAP.</p>	
Caracter.	Propiedades
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con enclavamiento
Posición de montaje	indistinto
Construcción	válvula de membrana de precisión, prepilotada
Función del regulador	con escape secundario Presión inicial
Indicación de la presión	preparado para G1/8"
Margen de regulación de la presión	0,05 - 0,7 bar
Presión inicial 1	1 - 12 bar
Histéresis máxima de la presión	0,02 bar
Caudal nominal normal	800 l/min
Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar, grado de filtración de 40 µm
Temperatura del medio	-10 - 60 °C
Temperatura ambiente	-10 - 60 °C
Peso del producto	380 g
Tipo de fijación	Montaje en panel frontal Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G1/4
Conexión neumática 2	G1/4
Información sobre el material de las juntas	NBR
Información sobre el material del cuerpo	Aluminio



Fuente: Festo el catalogo de neumática [2 CD-ROM]. Esslingen: Festo AG & Co, 2004. Reguladores de presión:

## 2.8 VÁLVULAS DE BLOQUEO

Estas válvulas de bloqueo serán utilizadas en cada modulo, presión alta en acero inox, para presiones medias y bajas estarán hechas de bronce, a continuación se presentan las características de este tipo de válvulas.

Figura: 13. Válvulas de bloqueo



## Características

Las válvulas de macho cilíndrico Swagelok ofrecen un bajo par de actuación de un cuarto de vuelta, en un diseño compacto y sencillo que permite el cierre seguro del caudal en una sola dirección hasta 206 bar (3000 psig).

- Paso recto
- Punto de regulación en la dirección del caudal
- Diseño sencillo, fácil de limpiar y mantener
  - Cuerpo de una pieza
  - Conjunto de cierre reemplazable
  - Cierre a la atmósfera con junta tórica

## Capacidades de presión y temperatura<sup>①</sup>

Serie	P4T, P6T	P4T	P6T
Material	Acero inox. 316	Latón	
Temperatura, °C (°F)	Presión de servicio, bar (psig) <sup>②</sup>		
-23 (-10) a 37 (100)	206 (3000)	206 (3000)	137 (2000)
65 (150)	206 (3000)	172 (2500)	137 (2000)
93 (200)	206 (3000)	137 (2000)	137 (2000)
121 (250)	137 (2000)	103 (1500)	103 (1500)
148 (300)	68,9 (1000)	68,9 (1000)	68,9 (1000)
176 (350)	68,9 (1000)	68,9 (1000)	68,9 (1000)
204 (400)	68,9 (1000)	27,5 (400)	27,5 (400)

① Datos basados en válvulas con juntas tóricas de FKM Fluorocarbono con recubrimiento de PTFE.

② La presión diferencial está limitada a un máximo de 10,3 bar (150 psig) en el caso de darse contrapresión. La regulación del caudal en sentido contrario puede dañar la junta tórica.

Conexiones finales		Referencia		Serie	Dimensiones, mm (pulg.)		
Entrada/Salida	Tamaño	Acero inox.	Latón		Orificio	A	B
Racores Swagelok fraccionales	1/8 pulg.	SS-2P4T	B-2P4T	P4T	2,3 (0,093)	50,5 (1,99)	24,9 (0,98)
	1/4 pulg.	SS-4P4T	B-4P4T		4,4 (0,172)	55,1 (2,17)	27,4 (1,08)
	3/8 pulg.	SS-6P4T	B-6P4T	P6T	7,2 (0,283)	58,2 (2,29)	29,0 (1,14)
		SS-6P6T	B-6P6T			67,6 (2,66)	33,8 (1,33)
1/2 pulg.	SS-8P6T	B-8P6T			73,2 (2,88)	36,6 (1,44)	
Racores Swagelok métricos	6 mm	SS-6P4T-MM	B-6P4T-MM	P4T	4,4 (0,172)	55,1 (2,17)	27,4 (1,08)
	8 mm	SS-8P6T-MM	B-8P6T-MM	P6T	7,2 (0,283)	67,6 (2,66)	33,0 (1,30)
	10 mm	SS-10P6T-MM	B-10P6T-MM			68,1 (2,68)	34,0 (1,34)
	12 mm	SS-12P6T-MM	B-12P6T-MM			75,2 (2,96)	36,6 (1,44)
NPT hembra	1/8 pulg.	SS-2P4T4	B-2P4T4	P4T	4,4 (0,172)	45,2 (1,78)	22,6 (0,89)
	1/4 pulg.	SS-4P4T4	B-4P4T4	P6T		7,2 (0,283)	53,1 (2,09)
		SS-4P6T4	B-4P6T4		60,5 (2,38)		30,2 (1,19)
	1/2 pulg.	SS-8P6T4	B-8P6T4			73,2 (2,88)	36,6 (1,44)
NPT macho	1/8 pulg.	SS-2P4T2	B-2P4T2	P4T	4,4 (0,172)	38,9 (1,53)	19,3 (0,76)
	1/4 pulg.	SS-4P4T2	B-4P4T2	P6T		7,2 (0,283)	48,3 (1,90)
	1/2 pulg.	SS-8P6T2	B-8P6T2				
NPT macho/racor Swagelok	1/4 pulg.	SS-4P4T1	B-4P4T1	P4T	4,4 (0,172)	51,2 (2,03)	24,1 (0,95)
NPT macho/NPT hembra	1/4 pulg.	SS-4P4T5	B-4P4T5				
ISO cónica hembra <sup>①</sup>	1/4 pulg.	SS-4P4T4-RT	B-4P4T4-RT	P6T	7,2 (0,283)	56,1 (2,21)	28,2 (1,11)
	1/2 pulg.	SS-8P6T4-RT	B-8P6T4-RT				

Dimensiones mostradas con las tuercas Swagelok apretadas a mano.

① Consulte las especificaciones ISO 7/1, BS21, DIN-2999, y JIS B0203.

Fuente: Válvulas de bloqueo montaje en panel [en línea]. Solon Road: Swagelok Company, 2006. [Consultado 1 de agosto del 2006]. Disponible en Internet: [http://www.swagelok.com.mx/search/find\\_products\\_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-10000002/type-1](http://www.swagelok.com.mx/search/find_products_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-10000002/type-1)

## 2.9 SELECCIÓN DE FILTROS (PARTÍCULAS, AGUA, ACEITE)

Los filtros estarán montados a la salida del suministro de aire industrial suministrado por Propal, este tipo de filtros es esencial para la protección de los reguladores de presión pues estos necesitan un aire sin partículas para su correcto desempeño.

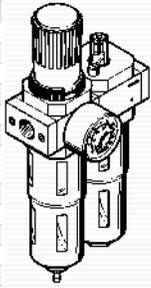
Figura 14. Selección de filtros (partículas, agua, aceite)



**Unidad de mantenimiento**  
**FRC-1/4-D-5M-MINI**

Combinación filtro-Presión-Válvula de regulación-lubricador, filtro de 5µm, con cesta de protección metálica. Con descarga manual de condensado.

Caracter.	Propiedades
Tamaño	mini
Serie	D
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con enclavamiento
Posición de montaje	vertical +/- 5°
Grado de filtración	5 µm
Evacuación del condensado	giro manual
Construcción	Filtro regulador con manómetro Lubricador proporcional de niebla de aceite
Cantidad máxima de condensado	22 cm <sup>3</sup>
Funda de protección	funda protectora metálica
Indicación de la presión	con manómetro
Margen de regulación de la presión	0,5 - 12 bar
Presión inicial 1	≤ 16 bar
Histérisis máxima de la presión	0,2 bar
Caudal nominal normal	850 l/min
Fluido	Aire comprimido
Temperatura del medio	-10 - 60 °C
Temperatura ambiente	-10 - 60 °C
Peso del producto	660 g
Tipo de fijación	Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G1/4
Conexión neumática 2	G1/4
Información sobre el material del cuerpo	Fundición inyectada de cinc
Información sobre el material del depósito del filtro	PC



Fuente: Festo el catalogo de neumática [2 CD-ROM]. Esslingen: Festo AG & Co, 2004. Unidades de mantenimiento:

## 2.10 CONECTORES A UTILIZAR EN EL DISEÑO.

Existen varias referencias de conectores a utilizar para este diseño, hay que en cuenta que para presiones altas se utilizaran conectores en acero inoxidable marca Swagelok. Las características se pueden apreciar en las figuras siguientes:

Figura15. Conectores a utilizar en el diseño



### Materiales de construcción

Componente	Material	
	Acero inox. 316	Latón
<i>Base, carcasa, espiga</i>	Acero inox. 316	Latón C36000
<i>Válvula de la base, inserto de base, válvula DESO, retén DESO</i>		Latón C36000
<i>Inserto de espiga SESO</i>		Latón C26000
<i>Juntas tóricas</i>	<i>FKM fluorocarbono</i>	<i>Buna N</i>
<i>Muelles</i>	Acero inox. 316	
<i>Anillos elásticos</i>	Acero inox. 316	
<i>Manguito de la base</i>	Pulverizado de acero inox. 316	Latón C36000
<i>Manguito de la espiga DESO</i>	Acero inox. 316 esmaltado de poliuretano	Latón esmaltado de poliuretano C36000
<i>Manguito de la espiga SESO</i>	Acero inox. 316	Latón C36000
<i>Topes de bloqueo</i>	Pulverizado de acero inox. 316 recubierto de Xylan®	
<i>Lubricantes</i>	<i>Base de silicona y PTFE</i>	

Los componentes húmedos se indican en cursiva.  
Hay otros lubricantes disponibles.

### Presión-temperatura de servicio

Temperatura °C (°F)	Acero inox. 316 con juntas tóricas de FKM fluorocarbono			Latón con juntas tóricas de Buna N		
	QC4	QC6	QC8	QC4	QC6	QC8
	Presión de servicio, conectado, bar (psig)					
20 (70)	206 (3000)	103 (1500)	51,6 (750)	137 (2000)	68,9 (1000)	34,4 (500)
121 (250) <sup>①</sup> 204 (400) <sup>②</sup>	17,2 (250)					
Presión de servicio, desconectado, bar (psig)						
20 (70)	17,2 (250)					
Presión de servicio, durante la conexión y desconexión, bar (psig)						
20 (70)	17,2 (250)					

① Para latón con juntas tóricas de Buna N.

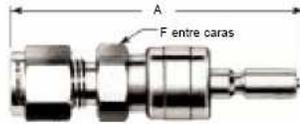
② Para acero inox. 316 con juntas tóricas de FKM fluorocarbono.

Fuente: Conectores pasamuros [en línea]. Solon Road: Swagelok Company, 2006. [Consultado 1 de agosto del 2006]. Disponible en Internet: [http://www.swagelok.com.mx/search/find\\_products\\_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-1000002/type-1](http://www.swagelok.com.mx/search/find_products_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-1000002/type-1)

Figura 16. Conectores a utilizar en el diseño

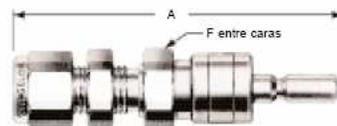
Información de pedido y dimensiones, serie QC

Espigas



Conexión final		Referencia básica		C <sub>v</sub>			A		
Tipo	Tamaño pulg	SESO (espiga sin válvula; permanece abierto cuando está desconectado)	DESO (espiga con válvula; cerrado cuando está desconectado)	SESO	DESO	Gran caudal	SESO mm (pulg)	DESO mm (pulg)	F pulg
 Racor Swagelok	1/8	-QC4-S-200	-QC4-D-200 <sup>①</sup>	0,08	0,08	0,08	58,9 (2,32)	70,4 (2,77)	5/8 <sup>①</sup>
	1/4	-QC4-S-400	-QC4-D-400	0,3	0,2	0,4	59,9 (2,36)	61,5 (2,42)	5/8
	3/8	-QC6-S-600	-QC6-D-600	1,0	0,5	1,5	64,0 (2,52)	67,1 (2,64)	3/4
	1/2	-QC8-S-810	-QC8-D-810	2,4	1,5	3,3	75,2 (2,96)	80,3 (3,16)	15/16
	6 mm	-QC4-S-6M0	-QC4-D-6M0	0,3	0,2	0,4	59,9 (2,36)	61,5 (2,42)	5/8
	10 mm	-QC6-S-10M0	-QC6-D-10M0	1,0	0,5	1,5	67,3 (2,65)	70,4 (2,77)	3/4
12 mm	-QC8-S-12M0	-QC8-D-12M0	2,4	1,5	3,3	75,2 (2,96)	80,3 (3,16)	15/16	
 Macho NPT	1/8	-QC4-S-2PM	-QC4-D-2PM	0,3	0,2	0,4	52,6 (2,07)	54,1 (2,13)	5/8
	1/4	-QC4-S-4PM	-QC4-D-4PM	0,3	0,2	0,4	56,4 (2,22)	57,9 (2,28)	5/8
	1/4	-QC6-S-4PM	-QC6-D-4PM	0,9	0,5	1,5	58,9 (2,32)	61,9 (2,44)	3/4
	3/8	-QC6-S-6PM	-QC6-D-6PM	0,8	0,5	1,6	59,7 (2,35)	62,7 (2,47)	3/4
	1/2	-QC8-S-8PM	-QC8-D-8PM	2,0	1,3	3,1	72,1 (2,84)	77,2 (3,04)	15/16
 Macho ISO cónica	1/4	-QC4-S-4MT	-QC4-D-4MT	0,3	0,2	0,4	56,4 (2,22)	57,9 (2,28)	5/8
	3/8	-QC6-S-6MT	-QC6-D-6MT	0,8	0,5	1,6	59,7 (2,35)	62,7 (2,47)	3/4
	1/2	-QC8-S-8MT	-QC8-D-8MT	2,0	1,3	3,1	72,1 (2,84)	77,2 (3,04)	15/16
 Hembra NPT	1/8	-QC4-S-2PF	-QC4-D-2PF	0,3	0,2	0,4	51,1 (2,01)	52,6 (2,07)	5/8
	1/4	-QC4-S-4PF	-QC4-D-4PF	0,3	0,2	0,4	57,4 (2,26)	58,9 (2,32)	3/4
	1/4	-QC6-S-4PF	-QC6-D-4PF	0,9	0,5	1,5	59,7 (2,35)	62,7 (2,47)	3/4
	3/8	-QC6-S-6PF	-QC6-D-6PF	0,8	0,5	1,6	59,7 (2,35)	62,7 (2,47)	7/8
	1/2	-QC8-S-8PF	-QC8-D-8PF	2,0	1,3	3,1	71,6 (2,82)	76,7 (3,02)	1 1/16
 Hembra ISO cónica	1/4	-QC4-S-4FT	-QC4-D-4FT	0,3	0,2	0,4	57,4 (2,26)	58,9 (2,32)	3/4
	3/8	-QC6-S-6FT	-QC6-D-6FT	0,8	0,5	1,6	59,7 (2,35)	62,7 (2,47)	7/8
	1/2	-QC8-S-8FT	-QC8-D-8FT	2,0	1,3	3,1	71,6 (2,82)	76,7 (3,02)	1 1/16

① El -QC4-D-200 es un conjunto de dos piezas.



Conexión final		Referencia básica		A				
Tipo	Tamaño pulg	SESO (espiga sin válvula; permanece abierto cuando está desconectado)	DESO (espiga con válvula; cerrado cuando está desconectado)	SESO mm (pulg)	DESO mm (pulg)	F pulg	Máx. espesor del panel mm (pulg)	Diám. taladro en panel mm (pulg)
 Racor Swagelok pasamuros	1/4	-QC4-S1-400	-QC4-D1-400	69,6 (2,74)	71,1 (2,80)	5/8	6,4 (0,25)	11,9 (15/32)
	3/8	-QC6-S1-600	-QC6-D1-600	74,2 (2,92)	78,0 (3,07)	3/4	6,9 (0,27)	15,1 (19/32)
	1/2	-QC8-S1-810	-QC8-D1-810	87,1 (3,43)	92,2 (3,63)	15/16	6,6 (0,26)	19,8 (25/32)
	6 mm	-QC4-S1-6M0	-QC4-D1-6M0	69,6 (2,74)	71,1 (2,80)	16 mm	6,4 (0,25)	11,5 (29/64)
	10 mm	-QC6-S1-10M0	-QC6-D1-10M0	77,7 (3,06)	78,7 (3,10)	22 mm	6,9 (0,27)	16,7 (21/32)
	12 mm	-QC8-S1-12M0	-QC8-D1-12M0	87,1 (3,43)	92,2 (3,63)	24 mm	6,6 (0,26)	19,4 (49/64)

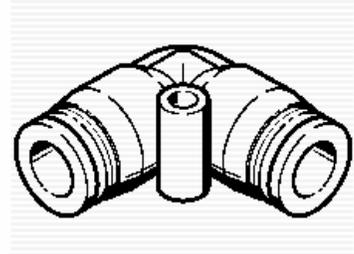
Fuente: Conectores [en línea]. Solon Road: Swagelok Company, 2006. [Consultado 1 de agosto del 2006]. Disponible en Internet: [http://www.swagelok.com.mx/search/find\\_products\\_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-10000002/type-1](http://www.swagelok.com.mx/search/find_products_home.aspx?SEARCH=/search/Racores/id-10000002/type-1)

Figura 17. Conectores a utilizar en el diseño

**Conectores para presiones medias, bajas y vacías.**

**Racor enchufable en L**  
**QSL-6**

Caracter.	Propiedades
Tamaño	Estándar
Diámetro nominal	5 mm
Construcción	Principio de empuje y tracción
Presión de funcionamiento	0 - 10 bar
Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar Aire filtrado y lubricado
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	0 - 60 °C
Conexión neumática	para diámetro exterior del tubo flexible de 6 m

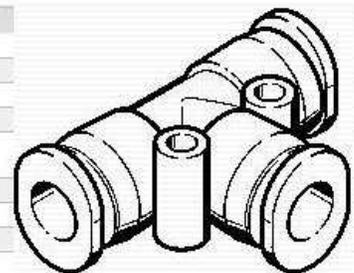


Fuente: Festo el catalogo de neumática [CD-ROM]. Essligen: Festo AG & Co, 2004. Tubos neumáticos y elementos de unión:

Figura 18. Conectores a utilizar en el diseño

**QSMT-6**  
para tubo flexible de plástico PAN, PUN

Caracter.	Propiedades
Tamaño	mini
Diámetro nominal	4 mm
Construcción	Principio de empuje y tracción
Presión de funcionamiento	0 - 10 bar
Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar Aire filtrado y lubricado
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	0 - 60 °C
Conexión neumática	para diámetro exterior del tubo flexible de 6 m



Fuente: Festo el catalogo de neumática [CD-ROM]. Essligen: Festo AG & Co, 2004. Tubos neumáticos y elementos de unión:

## 2.11 BOMBA GENERADORA DE VACIO

La bomba generadora de vacío alimentara el modulo de presión baja y vacío, esta bomba es adquirida por Propal S.A. y es tenida en cuenta dentro de las premisas y restricciones para nuestro diseño.

Figura 19. Bomba de vacío

# Vane Pumps- Two- Stage

**U.S. VACUUM**

**3.5 - 28 CFM Vacuum to: 0.5 Microns**



### USV Series Rotary Vane Vacuum Pumps

USV pumps are Two-Stage Rotary Vane Air-Cooled vacuum pumps capable of producing an ultimate vacuum of .0005 mm Hg. All pumps come with an anti suck-back valve, gas ballast valve, ISO/KF connections, base & rubber feet. Single phase pumps come with 2 meter 120V power cord & on-off switch.

USV pumps are ideally suited for use in applications such as Air Conditioning & refrigeration evacuation, vacuum ovens, backing turbomolecular pumps, degassing, cylinder filling, sampling applications and others.

Models US-100/200/400 come standard with 1/60/115-230V Motor. US-600/800 come standard with 3/60/230-460 motor.

Other motor voltages available on request.

### Technical Data

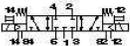
MODEL		100	200	400	600	800
<b>Displacement</b>	CFM	3.5	7	14	21	28
<b>Ultimate Vacuum</b>	Torr	.0005 mm Hg				
<b>Noise Level</b>	dba	54	56	56	57	58
<b>Motor</b>	Hp	1/2	1/2	1	2	2
<b>Pump Speed</b>	RPM	1800				
<b>Oil Capacity</b>	Qt.	.53	.62	1.5	2.9	2.4
<b>Inlet, ISO-KF</b>	mm	KF25			KF40	
<b>Pump Weight</b>	Lbs.	50	53	70	114	117

Fuente: Bomba de vacío [en línea]. Canton, Dallas: US Vacuum Pumps, 2006. [Consultado 31 de Julio del 2006]. Disponible en Internet: <http://www.usvacuum pumps.com/welcome/ultra-vac.html>

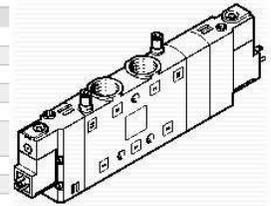
## 2.12 SELECCIÓN DE LAS SERVOVALVULAS.

La servoválvula presentada a continuación es la seleccionada para el modulo de presión baja y vacío pues es este el único modulo que conmuta con dos presiones. Este tipo de válvula es recomendada por el fabricante para trabajar con vacío.

Figura 20A. Selección de las servoválvulas.

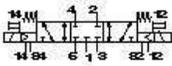
Electroválvula	
	CPE24-M3H-5/3GS-3/8 alto grado de integración. Este tipo es apropiado para trabajar con vacío.

Caracter.	Propiedades
Diámetro nominal	11 mm
Función de escape	Estrangulable
Tipo de accionamiento	eléctrico
Principio de hermetización	blando
Posición de montaje	indistinto
Accionamiento manual auxiliar	con reposición con accesorios enclavables
Construcción	Corredera
Tipo de reposición	muelle mecánico
Tipo de control	prepilado
Alimentación del aire de control	externo
Sentido del flujo	reversible
Función de las válvulas	5/3 monoestable cerrado
identificación de la posición de válvula	soporte del apantallamiento
presión de funcionamiento aire de pilotaje externo	-0,9 - 10 bar
presión de funcionamiento aire de pilotaje interno	2,5 - 10 bar
Presión de control	2,5 - 10 bar
comportamiento de la presión de mando (diagrama)	Diagrama
Valor B	0,31
Valor C	12,2 l/sbar
Caudal nominal normal	3.000 l/min
Desconexión del tiempo de conmutación	55 ms
Conexión del tiempo de conmutación	25 ms
Presión de funcionamiento	-0,9 - 10 bar
Duración de la conexión	100%
Valores característicos de las bobinas	230V AC, 50/60Hz, AL3W/HL2,4W
Fluido	aire comprimido seco, filtrado TF aire comprimido seco, filtrado y lubricado TFG Aire comprimido filtrado, sin lubricar, grado de filtración de 40 µm Aire seco, lubricado o sin lubricado Aire comprimido filtrado y lubricado, grado de filtración de 40 µm



Fuente: Festo el catalogo de neumática [2 CD-ROM]. Esslingen: Festo AG & Co, 2004. Válvulas y terminales de válvulas:

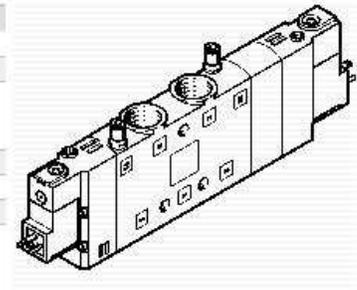
Figura 20B. Selección de las servoválvulas.



CPE24-M3H-5/3GS-3/8

alto grado de integración. Este tipo es apropiado para trabajar con vacío.

Caracter.	Propiedades
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura del medio	-5 - 50 °C
Tipo de protección	IP65 según IEC 60529 con conector tipo zócalo
Fluido de control	Aire seco, lubricado o sin lubricado
Temperatura ambiente	-5 - 50 °C
Peso del producto	0,43 kg
Conexión eléctrica	Conector según DIN 43650 forma rectangular Forma C
Tipo de fijación	con taladro pasante
Conexión del aire de pilotaje auxiliar 12	M5
Conexión del aire de pilotaje auxiliar 14	M5
Conexión del aire de escape de pilotaje 82	M5
Conexión del aire de escape de pilotaje 84	M5
Conexión del aire de pilotaje 12	M5
Conexión del aire de pilotaje 14	M5
Conexión neumática 1	G3/8
Conexión neumática 2	G3/8
Conexión neumática 3	G3/8
Conexión neumática 4	G3/8
Conexión neumática 5	G3/8
Información sobre el material de las juntas	NBR
Información sobre el material del cuerpo	Fundición inyectada de aluminio
Homologación	c UL us - Recognized (OL)



Fuente: Festo el catalogo de neumática [2 CD-ROM]. Esslingen: Festo AG & Co, 2004. Válvulas y terminales de válvulas:

La electroválvula seleccionada para el modulo de presión baja y vacío es una válvula de 5 vías tres posiciones.

### **3. MANUALES DE USUARIO Y GUIAS DE PRÁCTICA PARA LOS TRABAJADORES DE PROPAL S.A.**

#### **MANUAL DE USUARIO.**

Estará compuesto por dos manuales los cuales serán presentados al momento de la sustentación del proyecto.

#### **3.1 MANUAL DE OPERACIÓN**

- Descripción Modulo: Esta descripción especificara la instrumentación de cada modulo las partes que la componen.
- Alistamiento: es la puesta en marcha del sistemas los cuidados al encender, las reglas de seguridad y la correcta operación de cada modulo
- Guías de laboratorio: estas guías mostraran ejemplos de cómo utilizar el banco de pruebas metrológicas.

#### **3.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO**

- Listado de equipos: La instrumentación presente en cada modulo con sus manuales del fabricante.
- Planos Mecánicos, eléctricos, Instrumentación.
- Desarme y armado del banco de pruebas metrológicas.
- Lista de chequeo.
- Puesta en Marcha

#### 4. CONCLUSIONES

- Implementado el método de diseño Mecatronico (Estructurado) se cumplieron en nuestro proyecto con todas las necesidades y los requerimientos establecidos por nuestro cliente (tabla 2). Teniendo en cuenta el planteamiento de la misión el cual fue dividido en tres grupos, estas subdivisiones se plasmaron de la siguiente manera funcionalidad, estructura y estética, de nuestro banco de pruebas que fueron el objetivo final de nuestro desarrollo.
- Con la metodología propuesta anteriormente se logra obtener un punto de satisfacción optimo entre nuestro banco comparado con los bancos existentes en el mercado, cumpliendo con la necesidad principal de nuestro cliente Propal S.A.

Con los resultados arrojados por el método de diseño Mecatronico se llevo a cabo la Ingeniería de detalle con esta se procede a la selección de equipos teniendo en cuenta las premisas y las restricciones que están plasmadas al comienzo de este trabajo (Tabla 1).

- La elaboración de los manuales de usuario es de suma importancia para un banco de pruebas metrológicas ya que estos son los que permiten la interacción entre los operarios de Propal S.A. con el sistema, el buen funcionamiento del mismo, la durabilidad de los equipos en cuanto a su correcta manipulación, el mantenimiento preventivo, la correcta manipulación de los módulos de presión y los equipos de calibración para temperatura.

## 5. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.

Antes de poner en marcha el banco asegúrese que los módulos se encuentren bien instalados en sus respectivos rieles y las conexiones tanto de presión como de alimentación se encuentren bien realizadas.

Para la selección de los patrones nuestro caso los transmisores se hace necesario tener una hoja de vida de cada instrumento esta hoja de vida consta de los siguientes pasos.

Elaborar un listado de equipos indicando la ubicación, rango, exactitud y división de escala.

- Ordene de mayor a menor rango de medición los equipos, esto con el fin de obtener una mejor visualización de los rangos presentes en nuestra empresa
- Escoger la mejor exactitud que este presente en la lista elaborada
- Tener en cuenta que el patrón debe ser mínimo 4 veces de mayor exactitud que el instrumento de campo.

Los indicadores Red Lion permiten un modulo de comunicaciones a través del protocolo de comunicación RS 485 (Modbus), el cual nos permitirá en un futuro la obtención y captura de los datos para registro y monitoreo por medio de un SCADA o un desarrollo en un lenguaje de alto nivel.

Establecer periodos semestrales de mantenimiento preventivo del banco de trabajo, esto para evitar los daños permanentes de la instrumentación (Mantenimiento correctivo).

## BIBLIOGRAFIA

BOLAÑOS CASTILLO, Jhon; FERNANDO TRUJILLO Luís. Diseño e implementación de un laboratorio de temperatura presión y humedad relativa. Santiago de Cali 1997. 185 p. Trabajo de grado (Ingeniero Electricista). Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingenierías.

CREUS. Antonio. Instrumentación industrial. 4 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1989. 717 p.

———Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. 241 p.

GONZALES GONZALES, Carlos. Metrología. México: Editorial Mcgraw-Hill Interamericana de México, S.A, 1995. 612 p.

HYDE John. REGUE John. CUSPINERA Albert. Control electronuematico y electrónico. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1997. 204 p.

SEARS -ZEMANSKY –YOUNG “Física Universitaria”. 6 ed. Delaware: Editorial Addison – Wesley Iberoamericana, 1988. 1110 p.

Acreditación Icontec [en línea]. Santa fe de Bogota: Instituto Colombiano de normas Técnicas. [Consultado 8 de Julio 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.icontec.org.co/MuestraContenido.asp?ChannelId=44>

Glosario de términos sobre metrología y calibración [en línea]. Lima Perú: Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual, 2006. [consultado 9 de Julio 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologíaycalibracion/anexo.asp>

Introducción a la metrología legal [en línea]. Santa fe de Bogota: Superintendencia de Industria y Comercio, 2006. [consultado 1 de Agosto 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.sic.gov.co>

Normas Iso 9000-2000 [en línea]. Córdoba Argentina: Universidad Blas Pascal, 2004. [Consultado 2 de Agosto 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.ubp.edu.ar/todoambiente/empresasyambientes/ISO9000.htm>

ISO 9000 [en línea]. Montevideo: Instituto uruguayo de normas técnicas, 2006.  
[consultado 3 Agosto 2006]. Disponible en Internet:  
<http://www.unit.org.uy/iso9000/iso9000.php>

## ANEXOS

### Anexo 1. Marco teórico

Con el fin de profundizar en la elaboración de un diseño de un banco de pruebas se hace necesario consultar la documentación presente en la biblioteca de la Universidad Autónoma de Occidente

#### **Búsqueda de la información.**

Para la realización de este proyecto es necesario conocer los diversos métodos de calibración, la instrumentación de campo, los equipos con los que actualmente se ejerce esta labor y lo que se ha implementado en la industria nacional para cumplir con normas ISO 9.000 V 2.000.

Como parte de la formación de ingeniero Mecatrónico es de vital importancia establecer métodos de diseño los cuales permitan el mejoramiento de productos establecidos con el fin de satisfacer las necesidades del cliente, en base a este se hace necesario saber los métodos existentes de calibración y la terminología asociada a dicho contexto.

**Conceptos:** Las siguientes definiciones fueron tomadas de la documentación presente en el segundo piso de la biblioteca Universidad Autónoma de Occidente.

- Normalización: Es la actividad que fija las bases para el presente y el futuro, esto con el propósito de establecer un orden para el beneficio y con el concurso de todos los interesados. En resumen, la normalización es, el proceso de elaboración y aplicación de normas; son herramientas de organización y dirección.

La asociación Estadounidense para pruebas de materiales (ASMT, por sus siglas en inglés) define la normalización como el proceso de formular y aplicar reglas para una aproximación ordenada a una actividad específica para el beneficio y con la cooperación de todos los involucrados.

- Norma: La norma es la misma solución que se adopta para resolver un problema repetitivo, es la referencia respecto a la cual se juzgara un producto o una función y, es el resultado de una elección colectiva y razonada.
- Especificación: Una especificación es una exigencia o requisito que debe cumplir un producto, un proceso o servicio, ya que siempre el

procedimiento por medio del cual puede determinarse si el requisito es satisfactorio.

- Principios básicos de la normalización: La normalización técnica, como cualquier actividad razonada, cuenta con principios básicos, los cuales son producto, en parte, de la actividad de la STACO, organismo creado por la Organización Internacional para la Normalización que se dedica a estudiar y establecer los principios básicos para la normalización<sup>1</sup>

Los conceptos que se presentan a continuación fueron tomados del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.

**¿Que son las normas unit-iso 9000?.** La Serie ISO 9000 es un conjunto de normas que, a diferencia de otras, en lugar de referirse al producto (su especificación, método de ensayo, método de muestreo, etc.) se refieren a la una forma de llevar a cabo la Gestión de la Calidad y montar los correspondientes Sistemas de la Calidad y Mejora Continua en una organización.

**Origen y antecedentes.** A principios de los años setenta las organizaciones se vieron sujetas a la necesidad de satisfacer los requisitos de múltiples programas de gestión de la calidad. Estos eran programas que habían sido establecidos en distintos sectores económicos, entre ellos el militar, que en el caso de los países de la OTAN utilizaban las especificaciones de la serie AQAP.

Todos ellos contaban con un elevado grado de semejanza en los detalles de sus requisitos, si bien diferían considerablemente en la presentación y la secuenciación de dichos requisitos.

Durante la década de los setenta se cayó en la cuenta de que tal rivalidad entre programas no era rentable. En consecuencia, varios países establecieron normas nacionales de sistemas de gestión de la calidad armonizadas, como por ejemplo, las normas BS 5750 del Reino Unido y las CSA Z 299 de Canadá.

Dada la amplia difusión que estos sistemas estaban adquiriendo se vio la conveniencia de establecer una Norma Internacional.

---

<sup>1</sup> GONZALES GONZALES, Carlos. Metrología. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana de México, S.A, 1995. p. 25-26.

<sup>2</sup> ISO 9000 [en línea]. Montevideo: Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. 2006. [consultado 3 Agosto 2006]. Disponible en Internet: <http://www.unit.org.uy/iso9000/iso9000.php>

A tales efectos en 1979 se constituyó dentro de ISO el Comité Técnico N° 176, el que se identifica como ISO/TC 176 «Gestión de la Calidad y Aseguramiento de la Calidad», con el cometido de establecer, sobre este tema, normas genéricas y de aplicación universal<sup>2</sup>.

Este Comité, cuya Secretaría ejerce el SCC (Standards Council of Canada) tiene a su vez tres subcomités:

SC 1 Conceptos y Terminología, a cargo de AFNOR (Association Française de Normalisation), responsable de la elaboración y revisión de la norma ISO 9000.

SC 2 Sistemas de la Calidad, a cargo del BSI (British Standards Institution), responsable de la elaboración y revisión de las normas ISO 9001 y 9004.

SC 3 Tecnologías de apoyo, a cargo de NEN (Nederlands Normalisatie-instituut), que incluyen: técnicas estadísticas, equipos de mediciones, etc. Es responsable de la elaboración de la Norma ISO 19011, que corresponde a la revisión de la ISO 10011 y la ISO 14010/11/12.

Fuente: ISO 9000 [en línea]. Montevideo: Instituto uruguayo de normas técnicas. 2006. [consultado 3 Agosto 2006]. Disponible en Internet: <http://www.unit.org.uy/iso9000/iso9000.php>

Las definiciones que se presentan a continuación se tomaron de indecopi (instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual)

**¿Qué es la metrología?** La metrología es el campo de conocimiento referente a las mediciones. El desarrollo tecnológico de los últimos años, ha llevado a una revisión conceptual y científica de la metrología que se encuentra en constante preocupación por las investigaciones orientadas a conseguir mayor exactitud, mayor diversidad de patrones de referencia y

mayor uniformidad y precisión de las medidas a nivel internacional. Son muchos los aspectos de la vida que dependen de las medidas, de ahí la importancia de la metrología y la universalidad de las unidades y los patrones de referencia.

**¿Cuáles son los beneficios de la metrología?** El desarrollo de la metrología proporciona múltiples beneficios al mundo industrial, como veremos a continuación:

- Promueve el desarrollo de un sistema armonizado de medidas, análisis y ensayos exactos, necesarios para que la **industria sea competitiva**.
- Facilita a la industria las herramientas de medida necesarias para la investigación y desarrollo en campos determinados y para definir y controlar mejor la calidad de los productos.
- Perfecciona los métodos y medios de medición.
- Facilita el intercambio de información científica y técnica.
- Posibilita una mayor normalización internacional de productos en general, maquinaria, equipos y medios de medición.

**Calibración.** Se entiende por calibración al conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de los errores de un patrón, instrumento o equipo de medida, procediendo a su ajuste o expresando aquellos errores mediante tablas o curvas de corrección. Se llama también calibración a ciertos controles indirectos que muestran que el instrumento en cuestión está dentro de especificaciones.

Notas:

1. El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones, los valores correspondientes del mesurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.
2. Una calibración también puede servir para determinar otras propiedades metrológicas, tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
3. Los resultados de una calibración pueden consignarse en un documento denominado Certificado de Calibración o Informe de Calibración<sup>3</sup>.

---

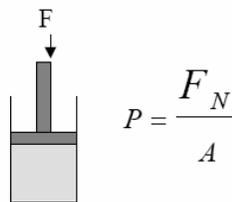
<sup>3</sup> Glosario de términos sobre metrología y calibración [en línea]. Lima Perú: Instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual. 2006. [consultado 9 de Julio 2006]. Disponible en Internet: <http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologíaycalibracion/anexo.asp>

**Acreditación.** Procedimiento mediante el cual la autoridad competente, reconoce formalmente que un organismo o una persona está preparado para realizar tareas específicas<sup>3</sup>.

## PRESIÓN

Es la fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como Pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (Libras por pulgada cuadrada<sup>4</sup>).

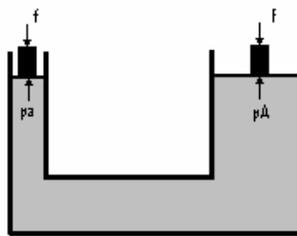
Figura 21. Presión



Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentación industrial. 4 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1989. 76 p.

**Principio de Pascal:** La presión aplicada a un fluido encerrado se transmite sin disminución a cada punto del fluido y de las paredes del recipiente que lo contiene<sup>5</sup>.

Figura 22



Fuente: SEARS -ZEMANSKY -YOUNG "Física Universitaria". 6 ed. Delaware: Editorial Addison - Wesley Iberoamericana, 1988. p 288.

<sup>4</sup>Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentación industrial. 4 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1989. p. 76, 77.

<sup>5</sup> SEARS -ZEMANSKY -YOUNG "Física Universitaria". 6 ed. Delaware: Editorial Addison - Wesley Iberoamericana, 1988. p. 288.

**Clases de presión.** Al clasificar los tipos de presión encontramos dos grandes clasificaciones:

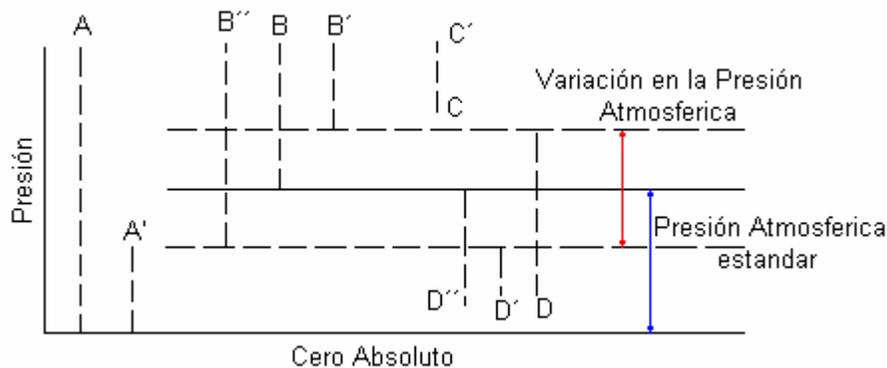
**La presión absoluta:** Medida con relación al cero absoluto (Puntos A y A' de la figura 23)<sup>4</sup>.

**Presión atmosférica:** Es la ejercida por la atmósfera terrestre. A nivel del mar equivale a 760 mm (29.9 pulgadas) de mercurio absoluto o 14.7 psia (Libras por pulgada cuadrada absolutas), valores que definen la denominada atmósfera estándar<sup>4</sup>.

**Presión relativa:** Es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura 23)<sup>4</sup>

**Presión diferencial:** Es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'<sup>4</sup>

Figura: 23. Clases de presión.



Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentación industrial. 4 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1989. p. 77.

**Vacío:** Es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, la presión medida por debajo de la atmósfera (puntos D, D' y D'') figura 23. Viene expresado en mm columna de mercurio, mm de agua o pulgadas de agua.<sup>4</sup>

## CONSIDERACIONES SOBRE LOS ERRORES.

- El error absoluto es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor de la variable medida. Esta es la diferencia será positiva cuando el valor real (valor exacto) de la variable sea mayor que el transmitido o leído, y será negativa cuando el real sea menor que el aproximado (o sea el transmitido o leído)<sup>6</sup>.
- Se llama error relativo de la medida al cociente que resulta de dividir el error absoluto por el valor de la medida:

$$E = \frac{\text{error absoluto}}{\text{Valor real}}$$

Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p.8.

- Incertidumbre: Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo obtenidos<sup>6</sup>.

$$\text{Incertidumbre} = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}$$

Dado el nivel del presente texto, la definición de incertidumbre se da de una manera muy simple, para un tratamiento formal se recomienda consultar la siguiente referencia.

Guide to expresión of uncertainty in measurement (1993) preparada conjuntamente por expertos del BIPM (Bureau International des Poids et Measure) el (Internacional Electrotechnical Commision) la ISO (Internacional Organization for Standardization) y OIML (International Organization of legal Metrology)<sup>7</sup>.

**Clasificación de errores en cuanto a su origen.** Las siguientes definiciones han sido tomadas de los textos [<sup>7</sup>] y [<sup>6</sup>] según los posibles errores que puedan presentarse en el banco de pruebas metrológicas.

---

<sup>6</sup>CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p. 8.

<sup>7</sup>GONZALES GONZALES Carlos. Metrología. Editorial Mcgraw-Hill Interamericana de México, 1995. p. 53-63.

**Errores por el instrumento o equipo de medición.** Las causas de errores atribuibles al instrumento, pueden deberse a defectos de fabricación (dado que es imposible construir aparatos perfectos). Estos pueden ser deformaciones, falta de linealidad, imperfecciones mecánicas, falta de paralelismo, etcétera.

El error instrumental tiene valores máximos permisibles, establecidos en normas o información técnica de fabricantes de instrumentos, y puede determinarse mediante calibración. Esta es la comparación de las lecturas proporcionadas por un instrumento o equipo de medición contra un patrón de mayor exactitud conocida.

Debe contarse con un sistema de control que establezca, entre otros aspectos, periodos de calibración criterios de aceptación y responsabilidades para la calibración de cualquier instrumento y equipo de medición<sup>6</sup>.

**Errores del operador o por método de medición.** Muchas de las causas del error se deben al operador, por ejemplo. Falta de agudeza visual, descuido, cansancio, alteraciones emocionales, etcétera. Para reducir este tipo de errores es necesario adiestrar al operador<sup>6</sup>.

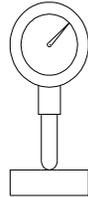
Otro tipo de errores son debidos al método o procedimiento con que se efectúa la medición. El principal es la falta de un método definido y documentado.

**Error por el uso de instrumentos no calibrados.** Instrumentos no calibrados o cuya fecha de calibración esta vencida, así como instrumentos sospechosos de presentar anormalidad en su funcionamiento no deben utilizarse para realizar mediciones hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso <sup>6</sup>.

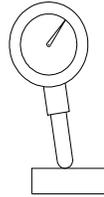
**Error por posición.** Este error lo provoca la colocación incorrecta de las caras de medición de los instrumentos, con respecto de las piezas por medir figura 24<sup>6</sup>.

Figura 24. Error de posición

Forma correcta.



Forma Incorrecta

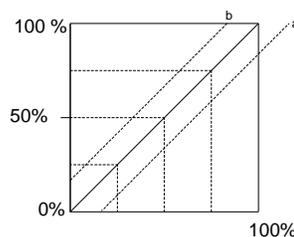


Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p. 150-153.

**Error por desgaste.** Los instrumentos de medición, como cualquier otro objeto son susceptibles de desgaste, natural o provocado por el mal uso. En el caso concreto de los instrumentos de medición, el desgaste puede provocar un serie de errores durante su utilización (deformaciones de sus partes, juego entre sus ensambles falta de paralelismo o plenitud entre las caras de medición). Estos errores pueden originar, a su vez, decisiones equivocadas; por tanto, es necesario someter a cualquier instrumento de medición a una inspección de sus características <sup>6</sup> (Mantenimiento preventivo).

**Error de cero.** Todas las lecturas están desplazadas un mismo valor (figura 25) con relación a la recta representativa del instrumento y este desplazamiento puede ser positivo o negativo<sup>6</sup>.

Figura 25. Error de cero

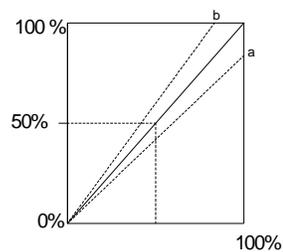


Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p. 151.

El error de cero se corrige con el llamado tornillo de cero, que modifica directamente la posición del índice o de la pluma de registro cambiando la curva variable-lectura paralelamente a sí misma, o bien extrayendo el índice y fijándolo al eje de lectura en otra posición.

**Error de multiplicación.** Todas las lecturas aumentan o disminuyen progresivamente con relación a la recta representativa, la desviación progresiva puede ser positiva o negativa. Figura 26<sup>6</sup>

Figura 26. Error de multiplicación

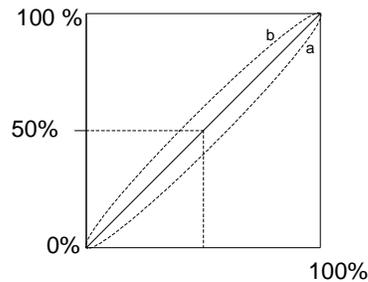


Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p. 152.

El error de multiplicación se corrige actuando sobre el tornillo de multiplicación (o Span en inglés), denominado también tornillo de cien, que modifica directamente la relación de amplitud de movimientos de la variable al índice o a la pluma, es decir, que aumenta o disminuye progresivamente las lecturas sobre la escala.

**Error de angularidad.** La curva real coincide con los puntos 0 y 100 % de la recta representativa, pero se aparta de la misma en los puntos restantes. El máximo error de la desviación suele estar en la mitad de la escala figura 27<sup>6</sup>.

Figura 27. Error de angularidad



Fuente: CREUS. Antonio. Instrumentos industriales su ajuste y calibración. 2 ed. Barcelona: Alfa y Omega Marcombo, 1990. p. 152.

**Error por condiciones ambientales.** Entre las causas de errores se encuentran las condiciones ambientales en que se hace la medición; entre las principales destacan temperatura, la humedad, el polvo y las vibraciones o interferencias (ruido) electromagnéticas extrañas<sup>7</sup>

- **Humedad:** Debido a los óxidos que se pueden formar por humedad excesiva en las caras de medición del instrumento o en otras partes o a las expansiones por adsorción de humedad en algunos materiales, etcétera, se establece como norma una humedad relativa de 55% +/- 10%.

- **Polvo:** los errores debidos a polvo o mugre se observan con mayor frecuencia de lo esperado, algunas veces alcanzan el orden 3 micras. Para obtener medidas exactas se recomienda usar filtros para aire que limiten la cantidad y el tamaño de las partículas de polvo ambiental.

- **Temperatura:** En mayor o menor grado, todos los materiales que componen tanto las piezas por medir como los instrumentos de medición, están sujetos a variaciones longitudinales debido a cambios de temperatura. En algunos casos ocurren errores significativos. Para minimizar estos errores se estableció internacionalmente, desde 1932, como norma una temperatura de 20 °C para efectuar mediciones. También es buena práctica dejar que durante un tiempo se estabilice la temperatura tanto de la pieza a medir como el instrumento de medición. El lapso depende de la diferencia de temperatura del lugar en el que estaba la pieza y la sala de medición, así como del material y tamaño de pieza.

En general, al aumentar la temperatura crecen las dimensiones de las piezas y cuando disminuye la temperatura las dimensiones de las piezas se reducen. Estas variaciones pueden determinarse utilizando la siguiente expresión<sup>7</sup>

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

Fuente: GONZALES GONZALES Carlos. Metrología. México: Editorial Mcgraw-Hill Interamericana de México S.A, 1995. p. 63.

Donde:

$\Delta L$  = Variación de longitud

$\alpha$  = Coeficiente de expansión térmica del material.

$L_0$  = Longitud original de la pieza

$\Delta T$  = Variación de temperatura

Para consultar la tabla de expansión térmica de los materiales consultar <sup>7</sup> Pág. 64.

### **MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS INSTRUMENTOS.**

En el texto siguiente se denota la importancia del mantenimiento preventivo en los instrumentos<sup>6</sup>.

Varios motivos permiten recomendar el mantenimiento preventivo de los instrumentos:

- La seguridad de que todos los instrumentos de la planta están disponibles y que funcionan correctamente.
- Por el mayor tiempo que hay que dedicar al instrumento, por la gradual deterioración de las características del aparato con su defecto negativo en el control de proceso, y por el coste de un paro parcial o total de la planta a causa de fallo del instrumento, siempre es más económico evitar las averías que esperar a que se produzcan.

---

<sup>7</sup>GONZALES GONZALES Carlos. Metrología. México: Editorial Mcgraw-Hill Interamericana de México, S.A, 1995. p. 58-63.