UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACUTLAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEGUNDA GENERACIÓN PARA EL MONITOREO CONTÍNUO DE DEFORMACIONES VOLCÁNICAS

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA - DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A :

ERRASTI OROZCO ULISES

TUTORES:

DR. SERVANDO DE LA CRUZ REYNA
DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ

Ciudad Universitaria 2006

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente

Secretario: Dr. Espinoza Bautista Adrián

Vocal: Dr. Dorador González Jesús Manuel

1er Suplente: M.I. González González Leopoldo Adrian

2do Suplente: Dr. De la Cruz Reyna Servando

Lugares donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM

INSTITUTO DE GEOFÍSICA DE LA UNAM

TUTORES:

DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ

FIRMA

DR. SERVANDO DE LA CRUZ REYNA

FIRMA

Agradecimientos Institucionales

El desarrollo y buen término de este trabajo de tesis fue posible gracias al apoyo de las siguientes instituciones:

- Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (**DGAPA-UNAM**) por medio del proyecto **IN110502** a través de su Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica **(PAPIIT)** por aportar recursos económicos al Instituto de Geofísica de la UNAM.

- Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología **CONACYT** por el apoyo a través de una beca con número de registro **177741** para realizar estudios de maestría en la **Facultad de Ingeniería** de la **UNAM**.

- **Instituto de Geofísica de la UNAM** por ser la entidad encargada de la dirección del proyecto.

- Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (CENAPRED) por su apoyo en el desarrollo del proyecto.

Y particularmente al personal de cada una de estas instituciones que participó directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

Agradecimientos Personales

A mis papás y hermana por apoyarme en todos mis proyectos y decisiones siempre pensando en mi bienestar.

A mis amigos, tíos, primos, sobrinos y familiares por seguir con interés todas estas actividades.

ÍNDICE P

1 Introducción

1.1 Introducción y Objetivos 5
1.2 Antecedentes 6
1.3 Medición de deformaciones volcánicas 8
1.4 Evaluación del modelo anterior 10

2 Marco Teórico

2.1 Avances y cambios tecnológicos 22
2.2 Importancia del uso de metodologías de diseño 24
2.3 Metodología propuesta y sistematización del proceso de diseño
2.3.1 Justificación 25
2.3.2 Principales metodologías de diseño 26
2.3.3 Clarificación del problema y planeación 29
2.3.4 Diseño conceptual 33
2.3.5 Diseño de configuración 45
2.3.6 Diseño de detalle 50
2.4 Metodología Propuesta 51

3 Diseño

3.1 Clarificación del problema y planeación 53
3.2 Requerimientos 54
3.3 Especificaciones 63
3.4 Diseño conceptual 68
3.5 Diseño configuración 82
3.6 Diseño de detalle 94

4 Análisis de datos de deformación 95

5 Resultados 112

6 Conclusiones
6.1 Conclusiones y recomendaciones 113
6.2 Trabajo futuro 116

Referencias y Bibliografía 117

ANEXOS

Anexo 1 Planeación del producto y PDS del sistema 118
Anexo 2 Estimación consumo energético 122
Anexo 3 Cálculos 123
Anexo 4 Código para análisis de Datos adquiridos por el sistema 127

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Con el propósito de dar continuidad al proyecto de diseño de un sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas descrito en la tesis de licenciatura de agosto del año 2000[1] y con la permanente necesidad de monitorear los volcanes activos en México y el mundo se da inicio al desarrollo de un sistema de segunda generación. El nuevo diseño toma como base la información y la experiencia adquiridas durante el desarrollo y operación del primer sistema, otorgando la capacidad de mejorar en varios aspectos y poder obtener una segunda generación.

Las erupciones volcánicas y el riesgo que representan para la población provocan la necesidad de crear distintos sistemas de monitoreo capaces de pronosticar con antelación suficiente tales sucesos para poder adoptar las medidas preventivas necesarias. La medición de la deformación del edificio volcánico es un importante parámetro que puede ser interpretado por los especialistas para entender mejor la actividad de un volcán. Los datos obtenidos son de mayor valor si se adquieren de forma continua y en tiempo real.

La medición continua de la deformación actualmente se puede lograr utilizando instrumentos electrónicos y mecánicos de precisión además de sistemas de control automatizado y telemetría. Todo esto logra evitar la exposición de personal en las zonas de riesgo cómo ocurre cuando se utilizan métodos convencionales de medición.

Recientemente la difusión de las capacidades y características de medición y la valoración de los datos obtenidos con el primer sistema permiten que investigadores y personas involucradas en el monitoreo volcánico en México y otras partes del mundo se muestren interesados en este sistema, esto abre nuevas posibilidades a la continuidad del proyecto y al desarrollo de más y mejores sistemas para el monitoreo de deformaciones volcánicas.

OBJETIVOS

Tomando como base una metodología general de diseño, orientar el proceso al diseño de un sistema de segunda generación para el monitoreo continuo de deformaciones volcánicas.

---

[1] Errasti O.U., Juarez G.J.A. y Huerta R.M.A.; “Diseño e implementación de un sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas en tiempo cuasi real”; Tesis de licenciatura Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, México DF 2000.

Desarrollar el diseño sistemáticamente utilizando la metodología propuesta.

Construcción y puesta en marcha de dos sistemas con mejores características de confiabilidad, precisión y funcionamiento.

Crear un documento útil que sirva como guía y referencia para los encargados de la continuidad del proyecto de monitoreo automatizado de deformaciones y otros proyectos similares.

Mostrar las ventajas y dificultades de utilizar las metodologías de diseño en una aplicación de diseño real.

1.2 ANTECEDENTES

Historia Actividad volcán Popocatépetl[2]:

1993-1997 En 1993 inició un incremento de la actividad con manifestaciones fumarólicas y sísmicas hasta que en diciembre de 1994 se produjo la primera emisión de ceniza casi 70 años lo que produjo inquietud en población y autoridades y algunos poblados fueron evacuados. Actividad fluctuante persistente a lo largo de 1995. En marzo 1996 presentó un nuevo episodio de actividad con emisiones de ceniza comparables a las de diciembre de 1994, se observó el crecimiento de un domo de lava en el fondo del cráter junto con algunas explosiones. La mayor explosión ocurrió el 30 de abril de 1996. El domo siguió creciendo hasta julio de 1996. Para septiembre de 1996 la tasa de crecimiento y las emisiones de ceniza disminuyeron.
Después de septiembre 1996, las emisiones de ceniza fueron menos frecuentes pero mayores en intensidad y con tendencia explosiva. Se observaron exhalaciones importantes durante gran parte de 1997. El evento más grande registrado fue el 30 de junio presentando sismos volcano-tectónicos, tremor y erupción con intensidad VEI estimada de 2 a 3. Se produjo una columna de ceniza de 8km que llegó a varios poblados alrededor del volcán incluyendo a la ciudad de México.
1998 Desde enero se producen algunas explosiones, exhalaciones, tremores y sismos volcano-tectónicos. A partir del 22 de noviembre el volcán mostró un incremento sustancial en su actividad con exhalaciones continuas, episodios de tremor e incandescencia en la boca del cráter. El proceso observado a finales de noviembre y diciembre, es la destrucción del domo que se formó en el interior del cráter. El semáforo de alerta volcánica continuó en amarillo y el radio de restricción en 7 km. Ver Imágenes 1 y 2

[2]Valdés González, De la Cruz Reyna, Quass Weppen, Guevara Ortiz, Martines Bringas, Castelan Pecina; “Resumen de la Actividad del Volcán Popocatépetl, Diciembre 1994 a Mayo 2001”; www.cenapred.unam.mx/mvolcan.html

Imagen 1 y Imagen 2; volcán Popocatépetl; Fotos CENAPRED

1999 Enero a febrero actividad baja, a partir de marzo se nota un incremento con algunas exhalaciones y emisión de fragmentos incandescentes. Se presenta actividad en junio, julio y se presentó un incremento hasta noviembre pero bajo en diciembre.

2000 Actividad baja que se incrementó hasta abril y otro incremento en septiembre produciendo el domo de lava mas grande desde 1994. Continuó actividad baja hasta principios de diciembre, el 12 de diciembre se incrementa con un gran número de exhalaciones con incandescencia en el cráter y la emisión de fragmentos. Ver imágenes 3, 4 y 5.

Imagen 3; Popocatépetl Diciembre 2000; Página Web CENAPRED

Imágenes 4 y 5; volcán Popocatépetl erupciones del 18 y 19 diciembre 2000; Página Web CENAPRED

Para el año 2001 la actividad disminuyó con respecto a diciembre del 2000, para noviembre del 2001 se presenta el crecimiento de pequeños domos.

Proyecto Temohuani:

Debido a la actividad del volcán Popocatépetl registrada desde el año 1993, personal del Instituto de Geofísica de la UNAM y del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se han dado a la tarea de monitorear las diferentes manifestaciones volcánicas, entre las que se encuentran sismicidad, imágenes térmicas y deformaciones del edificio volcánico.

En el año 1999 con el apoyo de UNAM-DGAPA-PAPIIT proyecto IN106397 y CONACYT proyecto 25497-T inició el proyecto para el desarrollo del primer sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas en tiempo real

En el año 2000 entró en operación el sistema conocido como TEMOHUANI 1 y el avance hasta el momento se plasmó en la tesis de licenciatura que lleva el título “Diseño e implementación de un sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas en tiempo cuasi real” y que sirvió para obtener el grado de ingenieros mecánicos por parte de la UNAM a los 3 estudiantes que participaron en el proyecto (1).

En el ámbito del monitoreo volcánico, los resultados obtenidos hasta el momento han permitido mejorar los métodos y obtener datos importantes. Estos datos contribuyen al mejor entendimiento de los fenómenos relacionados con la actividad volcánica y la capacidad para pronosticar eventos. Están en preparación diversos artículos en revistas científicas nacionales e internacionales.

Con base en la experiencia obtenida durante el desarrollo del TEMOHUANI 1 fue posible dar inició al diseño de los sistema de segunda generación conocido como TEMOHUANI 2 y 3.

Se pretende que los nuevos sistemas entren en operación en el año 2006.

Las nuevas generaciones pretenden incluir mejoras en el desempeño y eficiencia de funcionamiento, facilidad para el ensamble, reducción de peso, simplicidad para la instalación y operación; finalmente y en particular para la cuarta generación se buscará hacer un diseño orientado a manufactura y producción con la implicación de reducción de costos que representa.

1.3 MEDICIÓN DE DEFORMACIONES VOLCÁNICAS

La deformación de la estructura de un volcán es uno de los aspectos más importantes para el diagnóstico de su actividad. En distintos volcanes, donde existen dispositivos de observación de este parámetro, se han detectado variaciones significativas precursoras a una erupción. Existen numerosas publicaciones al respecto (ver por ejemplo Yokoyama, 1974; Dzurisin et al., 1980; Tryggvason, 1987; Ishihara, 1990). La medida de las deformaciones de un volcán también esta

indicada por la Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), como uno de los cuatro parámetros fundamentales recomendados para mantener un nivel básico de vigilancia sobre un volcán activo junto con las observaciones directas (visuales), las sismológicas y las geoquímicas de fumarolas y manifestaciones hidrotermales (Barberi et al., 1990). En México se han realizado trabajos de deformación a través de métodos geodésicos, principalmente en los volcanes Popocatépetl y de Fuego en Colima.

Por medio de técnicas geodésicas convencionales, se pueden evaluar las deformaciones de un volcán midiendo los cambios en las coordenadas con respecto a un marco de referencia el cual está conformado por marcas permanentes colocadas en las áreas de influencia del volcán.

La evaluación de las deformaciones incluye medidas de las componentes horizontal y vertical de los desplazamientos. Para el primer caso, se cuenta con métodos geodésicos, como son triangulación, trilateración, triangulateración. Para el segundo caso se emplean técnicas de nivelación geométrica y trigonométrica. Para medir la inclinación del terreno se utilizan métodos de inclinometría seca y electrónica.

En el volcán Popocatépetl a raíz de las manifestaciones fumarólicas detectadas desde 1993, se estableció en el flanco norte del volcán una red geodésica (De la Cruz - Reyna et al., 1995), con el objeto de detectar deformaciones.

Con base en los estudios hechos recientemente sobre la deformación del volcán[3], ha sido posible dar paso al desarrollo de un sistema, basado en la medición con distanciómetros electrónicos láser, que de manera automática permita monitorear continuamente una red geodésica obteniendo datos en tiempo real.

[3] Gómez Vázquez, Ángel, “Métodos Topográficos Empleados en el Monitoreo de la Corteza Terrestre del Volcán Popocatépetl”. Tesis que para obtener el titulo de Ingeniero Topógrafo y Geodesta. UNAM. Febrero 2000. 103pp

1.4 DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DEL MODELO ANTERIOR

DESCRIPCIÓN

Dentro del proyecto de diseño de un sistema automatizado para medición de deformaciones volcánicas en tiempo cuasi real se desarrollo el primer prototipo funcional llamado “Temohuani I”.

El sistema consiste en una red de prismas instalada en el cuerpo del volcán, un EDM (Electronic Distance Meter), un sistema de movimiento y control automatizado y una red de telemetría conectada a la estación del monitoreo donde ser reciben los datos. Ver Figura 6.

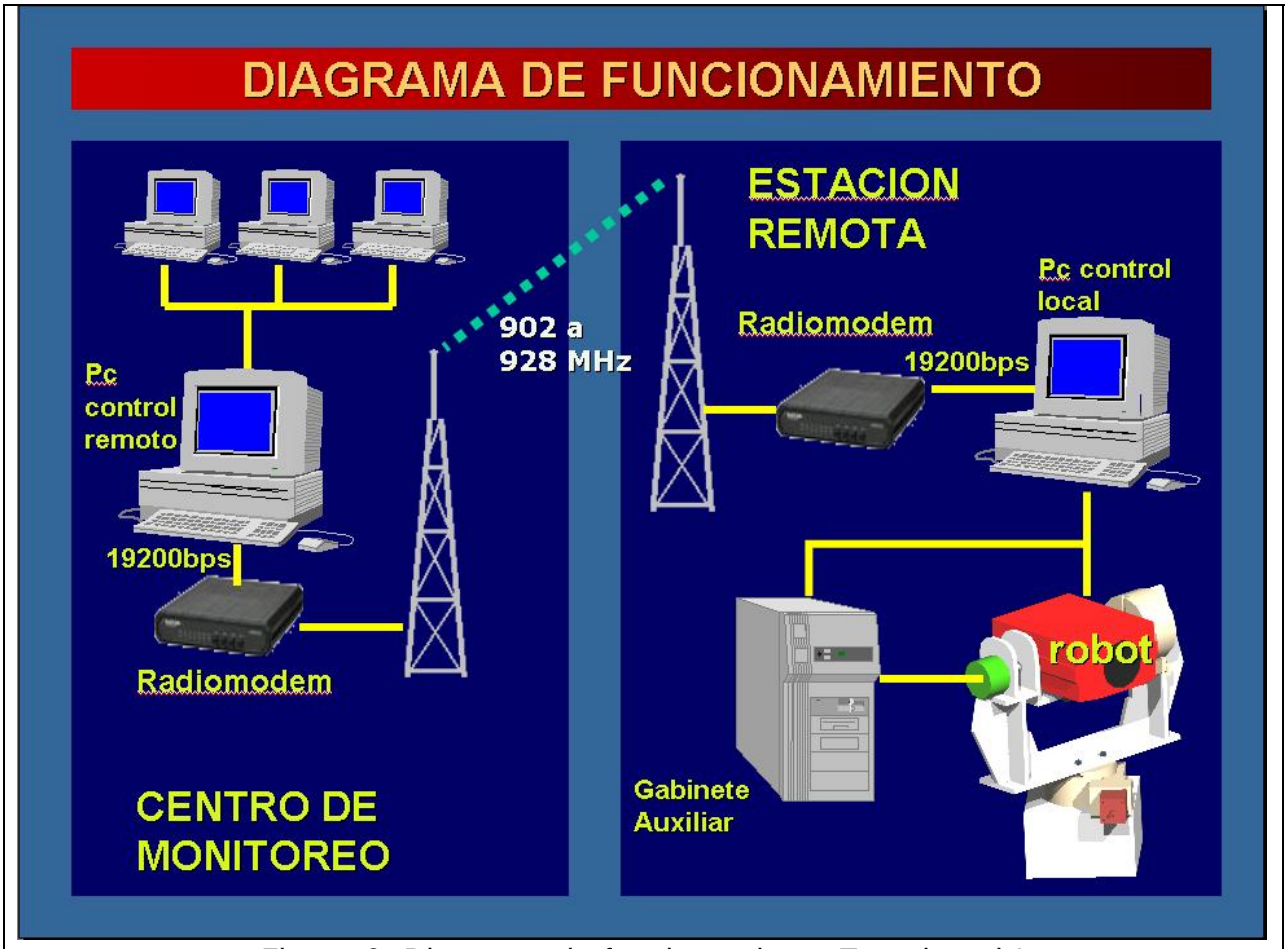


Figura 6, Diagrama de funcionamiento Temohuani I

Un prisma es un dispositivo óptico con la característica de reflejar la luz en la misma dirección del rayo que incide en el y con la menor perdida posible de intensidad, varios de estos prismas son colocados sobre la superficie del volcán, en los lugares donde se espera que las deformaciones sean máximas de acuerdo a un modelo matemático de deformación. Su ubicación final también depende de la accesibilidad a dichos lugares. En la Imagen 7 se muestra un prisma colocado en el volcán Popocatépetl, se pueden hacer arreglos de 2, 3, 6, 9 y hasta 12 prismas para

incrementar el área de reflexión aunque esto genera algunos problemas ópticos, de precisión y principalmente de costo.

Imagen 7, Prisma colocado en el volcán

Imagen 8, EDM midiendo la distancia al prisma

En la imagen 8 se puede apreciar un EDM marca Leica modelo DI3000 midiendo uno de los prismas instalados en el volcán Popocatépetl.

Como dispositivo de movimiento se diseñó un soporte en forma de “U” con las características estructurales necesarias para evitar algún tipo de deformación por cargas estáticas, dinámicas y cambios de temperatura. Sobre el soporte se coloca el distanciómetro, el cual se moverá por medio de dos motores, uno ubicado en la base para controlar el movimiento azimutal y otro de manera perpendicular para el ángulo de elevación. El distanciómetro entonces rota en estos dos ejes la cantidad necesaria de grados hasta que el rayo de luz láser coincide con algún prisma y se logra detectar la luz reflejada. Dicho soporte se colocó sobre un trípode fijo en el suelo, esto mantiene en la misma posición el punto emisor de luz y por tanto la referencia de distancias. Es importante mencionar que se busca obtener la deformación, es decir el cambio de las distancias en el tiempo.

En la figura 9 se destacan los componentes principales del sistema de movimiento que también se pueden apreciar en el ensamble final mostrado en la imagen 10.

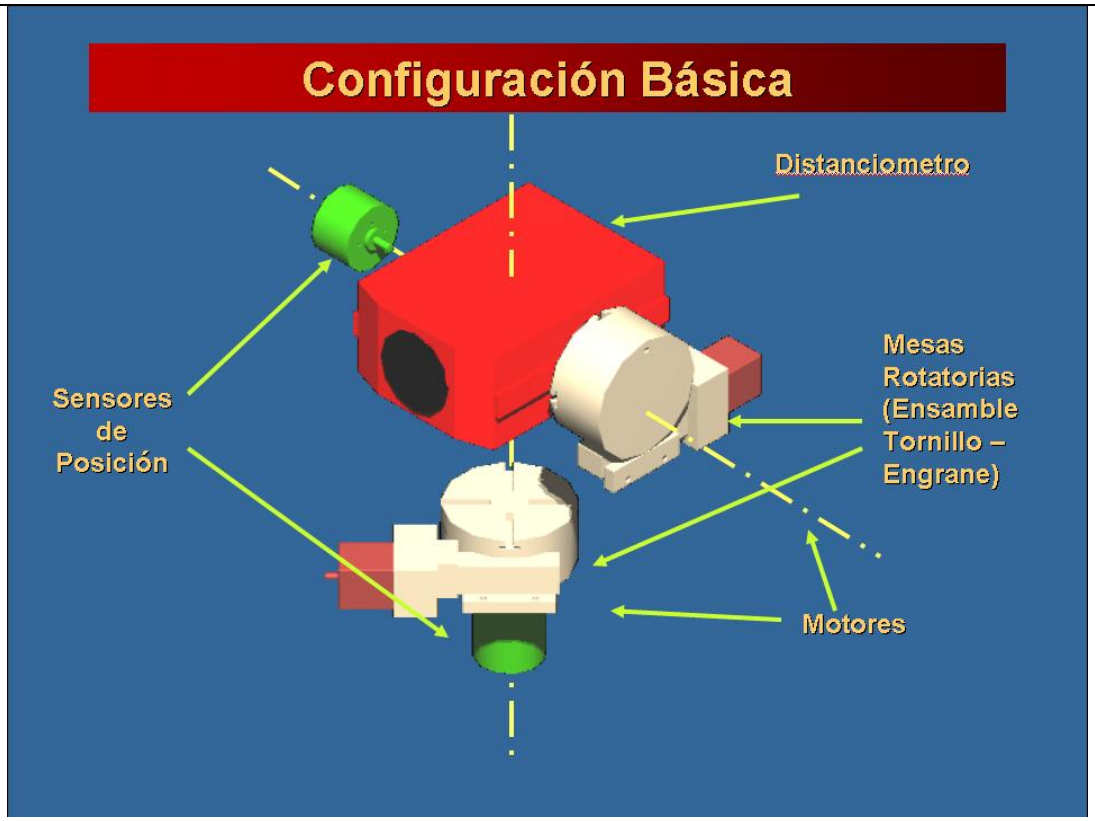


Figura 9, Distribución de componentes del sistema de movimiento.

Imagen 10, Temohuani I (Ensamble de EDM y sistema de movimiento).

La temperatura y otros factores atmosféricos provocan una curvatura del láser respecto a la línea de medición como producto de la sumatoria de las refracciones atmosféricas, esta curvatura se incrementa en la medida en que la distancia sea mayor, especialmente si esta es oblicua y atraviesa varias capas atmosféricas a distintas temperaturas. Este hecho provocó la necesidad de instalar un termómetro que registrara la temperatura para cada medición de distancia. Con este y otros datos se puede obtener el índice de refracción y corregir el error de medición.

El poder contar con un sistema que sea capaz de recabar datos en tiempo real o prácticamente real es de suma importancia en casos en los que la vida de las personas está en riesgo. El monitoreo de un volcán que permanece activo requiere de un sistema automatizado capaz de enviar datos a distancia. El sistema Temohuani I se instaló en el cerro de Tlamacas en un espacio que amablemente concedió PEMEX dentro de su caseta de telecomunicaciones. En las imágenes 11 y 12 se aprecia desde el interior la instalación final del Temohuani I, destaca el EDM en color rojo, el ensamble del sistema de movimiento, la ventana automatizada y la PC de control. En las imágenes 13 y 14 se aprecian dos vistas del volcán y el cerro de Tlamacas desde donde se hace mediciones a los diferentes prismas con dimensiones de 3 km aproximadamente.

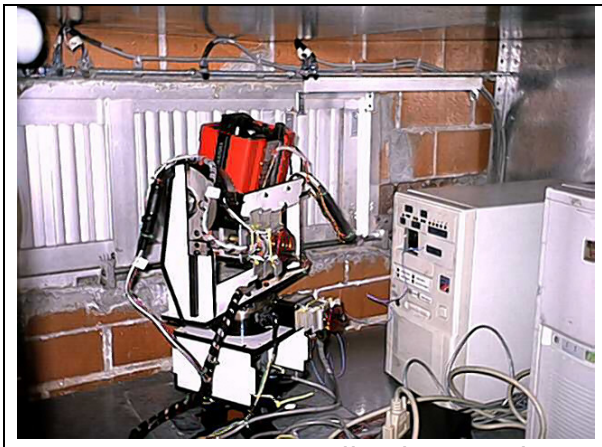


Imagen 11. Detalle sistema de movimiento Temohuani I

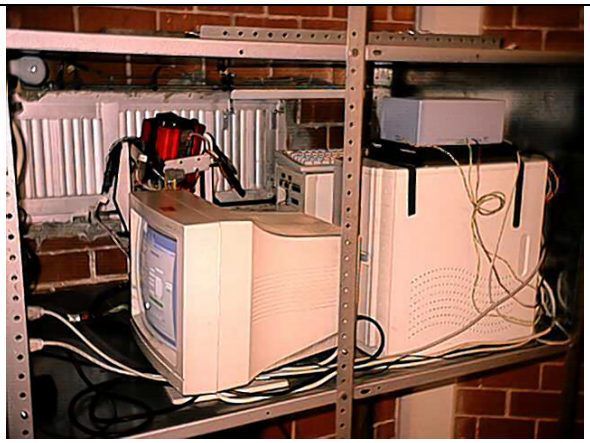


Imagen 12. Vista del sistema Temohuani I completo

Imagen 13. Volcán Popocatépetl desde la estación Tlamacas

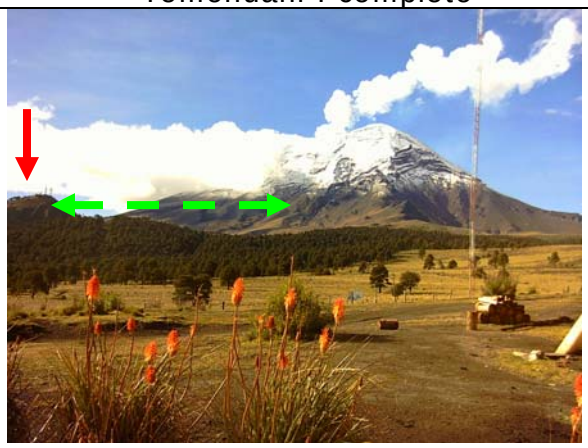


Imagen 14. Cerro Tlamacas y volcán Popocatépetl desde Paso de Cortés

El Temohuani I cuenta con una comunicación bidireccional permanente, esta conexión por radio permite enviar los datos medidos por el EDM y el resto de los sensores instalados cerca del volcán hasta las instalaciones seguras del centro de monitoreo, una vez recibidas esas mediciones pueden ser consultadas por los investigadores y especialistas desde cualquier lugar utilizando Internet.

En la Imagen 15 el Temohuani I esta en posición y apuntando el distanciómetro al prisma ubicado en el volcán. Las medidas que obtiene son recibidas en el centro de monitoreo y desplegadas en una pantalla como se muestra en la figura 16.

Imagen 15. Vista del volcán al fondo y el distanciómetro durante una medición.

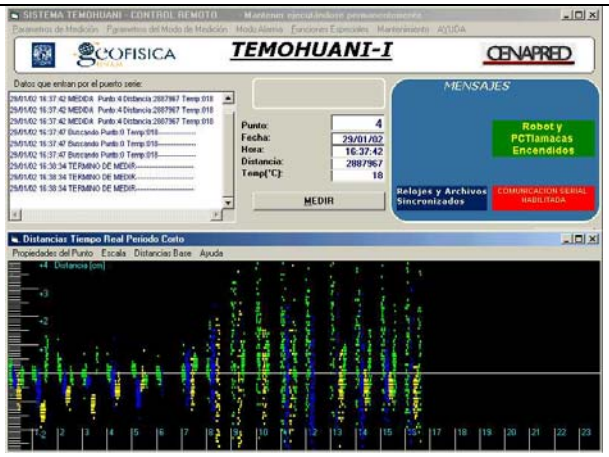


Figura 16. Pantalla de control y recepción de datos.

El sistema Temohuani (significa “el buscador” en Náhuatl) cuenta con un algoritmo que funciona de la siguiente manera.

1. El sistema se activa por tiempo preprogramado, al recibir una señal de alarma o al recibir un comando desde el centro de control.
2. Se abre la ventana automatizada.
3. Los motores giran el distanciómetro sobre los dos ejes de movimiento hasta la primera posición preprogramada donde se espera encontrar el primer prisma.
4. El distanciómetro cambia al modo de medición e intenta tomar una medida, si no logra hacerlo entonces cambia al modo de rastreo.
5. Los motores giran sincronizados de tal forma que la proyección del rayo láser sobre el volcán genera una espiral cuadrada, ver figura 17.
6. Durante este movimiento el distanciómetro evalúa la señal de regreso y emite un sonido al momento de detectar un nivel suficiente para medir, ver figura 18.
7. El control detecta ese sonido y detiene el movimiento para cambiar el distanciómetro a modo de medición.
8. El distanciómetro intenta medir y si no lo logra cambia a modo rastreo y entonces repite el proceso desde el paso 4.
9. Si se logra una medición exitosa entonces se graba en memoria la nueva posición de los motores y se procede a tomar una serie de mediciones que durará el tiempo programado en la configuración del sistema.

10. Una vez terminada la serie, los motores se mueven al siguiente prisma y continúa el proceso hasta terminar con todos los prismas instalados.
11. Si el control detecta que pasa demasiado tiempo en un punto sin obtener mediciones entonces se suspende la medición de ese punto y se brinca al siguiente.
12. Cuando termina el barrido de todos los puntos los motores regresan a su posición cero y recalibran su referencia de origen.
13. Finalmente el control apaga el distanciómetro, cierra la ventana automatizada y queda en espera para un nuevo barrido.

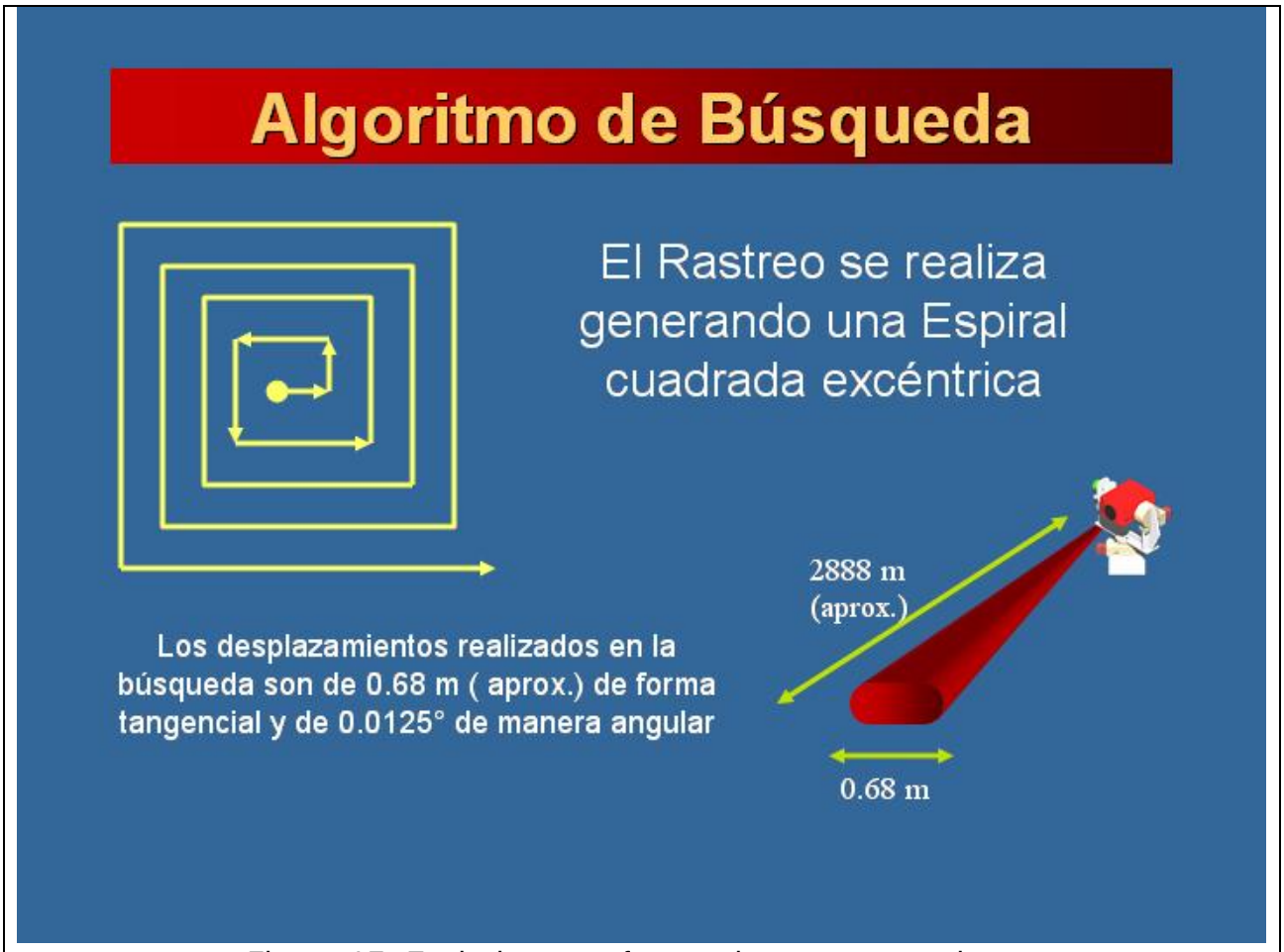


Figura 17. Espiral que se forma al rastrear un prisma.

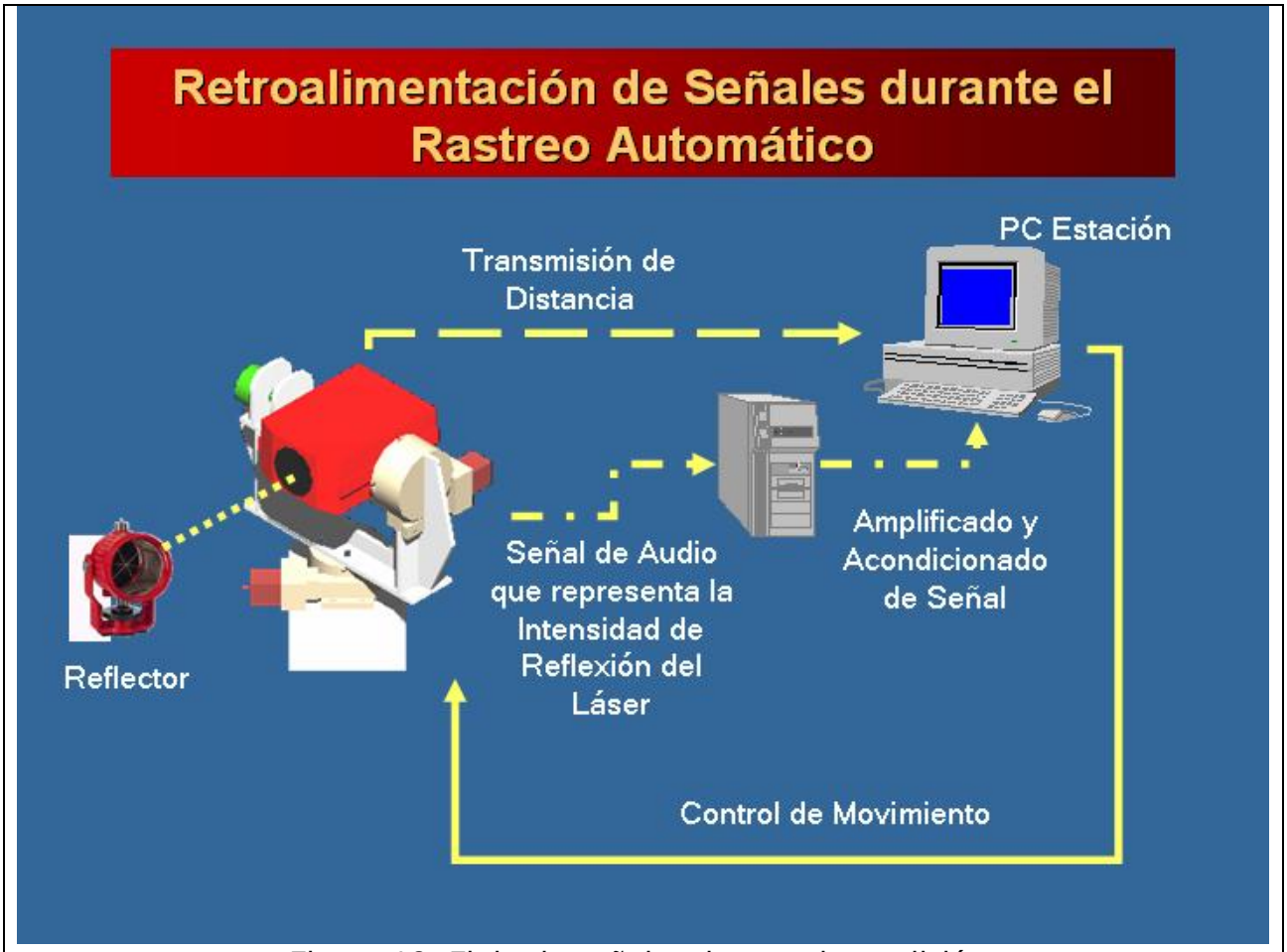


Figura 18. Flujo de señales durante la medición.

EVALUACIÓN

El desarrollo de éste prototipo arroja información que puede ser utilizada para obtener mejor desempeño del producto final.
El conocimiento obtenido puede ser clasificado en dos grupos, el primero puede servir para desarrollar una metodología de diseño y el segundo para mejorar el diseño del sistema.
El análisis de objetivos del proyecto, del desempeño del sistema y del proceso de diseño puede ayudar a definir con mayor precisión lo que es necesario mejorar.
Lo que se presenta en la Tabla 1 pretende analizar por temas cada objetivo planteado y evaluar el sistema Temohuani I para saber si lo cumple o no.
En la Tabla 2 se evalúa la metodología utilizada durante el diseño del Temohuani I

Tabla 1. Análisis de objetivos y desempeño del sistema. :

Objetivo	**Requerimiento**	**Desempeño del primer prototipo sistema "Temohuani I"**
Obtener un sistema apto para monitoreo (geodésico, telemétrico y automatizado)	Confiabilidad o tiempo de vida del producto sin fallas graves.	Ha logrado periodos de meses sin requerir servicios de reparación o mantenimiento mayor (1 o más días de trabajo en campo) pero no más de unas cuantas semanas sin requerir mantenimiento menor (Horas de trabajo en campo o de forma remota). Se han presentado problemas en diferentes tipos de componentes, ya sea mecánicos, eléctricos, electrónicos o de software. Estas fallas, sus causas y efectos se analizan más adelante.
	Mediciones precisas	Se observó que la repetibilidad[4] de las mediciones está en función de la capacidad de apuntar el distanciómetro hacia el centro del prisma o conjunto de prismas.
	Mediciones rápidas	El algoritmo de búsqueda implementado resulto ser indispensable para el funcionamiento del sistema, sin embargo todavía se puede hacer más eficiente y así reducir el tiempo del proceso.
	En tiempo real	Entendiendo como funcionamiento en tiempo real la capacidad para disponer de los datos para interpretación en unos cuantos minutos. El sistema cumple con éste punto sin problemas debido a que puede adquirir una medición en menos de 6 segundos (EDM SOKKIA RED2L) y los puede transmitir en menos de un segundo.
	Telemétrico	El sistema puede transmitir a más de 60 km con raras interrupciones ocurridas durante malas condiciones atmosféricas. Cumple sin problemas
Sistema para monitoreo geodésico volcánico	Resistente a condiciones ambientales extremas	Al ubicarse dentro de una caseta se ha protegido de las condiciones ambientales, sin embargo ésta configuración le resta portabilidad e incrementa los costos y tiempos de instalación.
	Independencia energética	No cuenta con dispositivos para generar energía eléctrica

[4] Según el diccionario de la lengua Española 23ª Edición; Real Academia Española: 1. f. En la metodología científica, cualidad de repetible.

	Eficiencia energética	El sistema tiene una baja eficiencia energética. Algunos factores que le afectan son: el uso de PC's en vez de microcontroladores dedicados, transformación de la energía eléctrica de AC a DC y carencia de modalidad de bajo consumo durante inactividad.
	Comunicación a distancia	Confiable, transmite datos sin errores a mas de 60 km.
Que sea automatizado	Capacidad de obtener datos sin la necesidad de acción de un operador	El operador (ubicado en el centro de monitoreo) puede cambiar parámetros como tiempo de medición de cada punto y frecuencia de medición si la actividad volcánica lo amerita, pero una vez establecidos estos parámetros, el sistema no requiere de asistencia.
Sistema competitivo	Bajo costo	Sin tomar en cuenta el costo de desarrollo, el costo del equipo fue relativamente bajo. Sin embargo para mejorar el desempeño final del producto es necesario incrementar la precisión de algunos componentes lo que generalmente implica incrementar su costo.
	Menor tiempo de instalación	Por ser primer prototipo no se puede evaluar
	Menor tiempo de fabricación	El proceso de fabricación no fue el óptimo y consumió gran cantidad de tiempo.
	Facilidad de manufactura	Se han encontrado algunos puntos que se pueden mejorar en el diseño del "Temohuani I" La configuración de control está basado en PC pero tiene subsistemas electrónicos independientes. Aunque esta configuración ha sido necesaria para fines de desarrollo; para la confiabilidad del sistema la integración y comunicación de los diversos componentes no es muy eficiente. Es necesaria una simplificación del cableado como podría ser un bus de datos para comunicación entre los módulos. Las conexiones son siempre una fuente de fallas en los circuitos eléctricos debido a la degradación de los conectores por efectos mecánicos, térmicos y de corrosión. El gran número de piezas dificulta el ensamble.

	Precisión	El material utilizado es acero que tiene muy buenas propiedades para la estabilidad estructural. Configuración del ensamble: el gran número de piezas y los ensambles con tornillos disminuyen la rigidez y dificultan la calibración dimensional de precisión.
	Rango de medición	Éste parámetro lo da el instrumento de medición EDM. Para el “Temohuani I” se utiliza el **Sokkia RED2L** que tiene un alcance de 6400m (3 prismas) El rango ideal sería de 15 km para que pueda ser utilizado en otros volcanes. Para alcanzar esto es posible utilizar EDM’s de marca **Leica serie DI3000** que tiene rangos de hasta 19km (9 prismas) además de otras ventajas como la interfase de comunicación y control, peso y tamaño. Se esta diseñando y construyendo un EDM para que eventualmente sea utilizado en todos los sistemas Temohuani (detalles en trabajo a futuro sección 6.2)
	Compatibilidad del software	El software tiene algunos módulos programadas en Visual Basic y otros en C. Todo funciona bajo plataforma Windows. Sería muy deseable tener un código multiplataforma.
	Facilidad de uso	Puede ser utilizado con una capacitación básica o siguiendo un manual de operación.
Sistema útil	Capacidad de procesar datos	Cuenta con un módulo básico de depuración y despliegue de datos.
	Analizar datos	La arquitectura del software permite agregar módulos de análisis sin mayores cambio
	Presentar y dar fácil acceso a datos y gráficas	Las gráficas se generan, se despliegan en pantalla y finalmente se publican en Internet de forma automatizada pero se puede mejorar la búsqueda en el historial o la generación de gráficas con parámetros especiales en forma remota. Se tiene fácil acceso a bases de datos
Sistema inteligente	Capacidad de autodiagnóstico	Se tienen funcionando algunas rutinas de autodiagnóstico como son: diagnóstico del estado de los radiomódems y estado de la ventana automatizada. Sería deseable un diagnóstico automatizado que cubriera la mayoría o todos los componentes del sistema.

	Capacidad de reparación y/o mantenimiento automatizado	La última versión del programa tiene algunas rutinas de mantenimiento automatizado, entre las que destacan: limpiar y respaldar archivos historiales, reiniciar programas, sincronizar relojes, restablecer coordenadas erróneas de prismas en memoria, detección de errores en posición de ventana automatizada, entre otras. Sin embargo se pueden programar rutinas que tomen en cuenta mas información disponible o agregar sensores y con eso tomar acciones correctivas de forma automatizada.
	Capacidad de adaptar y modificar parámetros de funcionamiento para mejorar eficiencia de manera automatizada	Actualmente se pueden modificar algunos parámetros como la velocidad de rastreo, los tiempos de medición, el número de medidas a tomar, intervalos de medición, tiempos de espera sin medición, coordenadas iniciales de rastreo, etc. La desventaja es que esos parámetros los tiene que modificar un operador, sería deseable que fueran dinámicos y que el programa los modificaran de forma automática y en tiempo real con base en las condiciones de medición del momento. Nota: Se tendrían dos modos ideales uno manual y otro automático
	Capacidad de actuar de acuerdo a cambios detectados en el análisis de mediciones.	El “Temohuani I” únicamente procesa y presenta datos pero no realiza acción alguna como consecuencia de un análisis de datos. Nota: Una posibilidad a futuro podría se que el control modifique sus parámetros para darle prioridad a un punto de medición y menos a otros no tan importantes.

Tabla 2. Análisis respecto al proceso de diseño:

Objetivo	**Deseado**	**Obtenido durante el desarrollo del diseño del primer prototipo: sistema "Temohuani I"**
Eficiencia en el proceso de diseño	Documentación de las etapas	No se utilizó una metodología sistematizada de diseño, sin embargo si se realizó la documentación. Nota: La razón fue el desconocimiento de metodologías formales de diseño por parte de los involucrados al momento de realizar el primer sistema, esto debido a que este tipo de metodologías se abordan en programas de mayor nivel que licenciatura. Otra razón es que el objetivo principal en la primera etapa fue probar la idea, construir y poner en operación el sistema.
	Tiempo corto de desarrollo	No se utilizó una metodología sistematizada de diseño
Metodología de diseño	Seguir una metodología de diseño	No se utilizó una metodología sistematizada de diseño

En resumen, el sistema Temohuani I a pesar de todos sus problemas, continúa arrojado una gran cantidad de información útil para el diseño de las siguientes generaciones de dispositivos de medición. Durante el proceso del diseño de segunda generación se utilizará la evaluación de la Tabla 1 para insertar mejoras.

En la Tabla 2 se muestra un panorama desierto en el uso de metodologías, esto es precisamente lo que impulsa y orienta el presente trabajo de tesis. La temática de esta tesis le da un peso importante al uso de procesos de diseño sistematizados que se puedan aplicar en esta segunda oportunidad de diseño y que permitan obtener mejores resultados.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 AVANCES Y CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Equipos de medición EDM:

Debido a los avances en electrónica, mecatrónica y optoelectrónica los fabricantes han podido integrar equipos originalmente independientes en un solo dispositivo, incrementando así su eficiencia y reduciendo su costo.
Los distanciómetros electrónicos (EDM) eran un equipo independiente de los teodolitos hasta que se integraron en un solo equipo conocido como estación total. Una estación total no es solo un paquete formado por EDM y teodolito, es la unión de sensores, actuadores y avanzados algoritmos de control que resultan en un dispositivo optomecatrónico capaz de desempeñar mediciones automatizadas. El objetivo de los fabricantes es que una sola persona pueda realzar trabajos de medición que antes requerían de dos o más individuos, además de lograrlo en un tiempo menor.

En 1995 los teodolitos (por ejemplo el marca: Leica, modelo: TCA1800L)[5] con EDM integrado se equiparon con motores para realizar sus movimientos y se convirtieron en estaciones totales motorizadas. Fue hasta 1999 (de forma paralela al desarrollo del Temohuani I) cuando se inició la comercialización masiva de las estaciones totales. Paralelamente algunos fabricantes descontinuaron la producción del EDM como módulo independiente y para el 2002 prácticamente todos los distanciómetros de largo alcance se vendían integrados a una estación total. El costo inicial de las estaciones totales motorizadas y en especial de las llamadas estaciones totales robotizadas fue muy alto pero con el tiempo ha disminuido hasta llegar a ser competitivo.

Esta evolución en los equipos de medición tuvo un efecto negativo en el presente proyecto debido a que se han estado utilizando distanciómetros electrónicos comerciales de largo alcance y alta precisión mismos que ya no se fabrican como módulos independientes.

Es importante resaltar que el Sistema Temohuani I se desarrollo de forma paralela a las estaciones totales robotizadas por lo que hubiera resultado muy difícil evaluar alguna para insertarla en el proyecto. De cualquier forma el sistema Temohuani I sigue teniendo vigencia debido a que es un sistema de propósito específico a diferencia de las estaciones totales que deben cubrir un amplio rango de aplicaciones, esto último podría ser la razón de que las estaciones totales todavía no puedan ser una opción real para el monitoreo continuo de deformaciones volcánicas en tiempo real.

[5] Point of Begining; March 2001; Businees News Publishing Company.

Debido a que se dejaron de fabricar distanciómetros de largo alcance y a que las estaciones totales generalmente no cumplen con todos los requerimientos para el monitoreo continuo de deformación volcánica, el grupo de trabajo involucrado en el proyecto Temohuani ha decidido iniciar el diseño y la construcción de un distanciómetro láser. Se espera que al diseñar y fabricar un EDM partiendo de las necesidades y requerimientos específicos del proyecto se pueda obtener un buen instrumento capaz de ser integrado al sistema Temohuani. Se pretende integrar el EDM "hecho a la medida" para las generaciones 4 o 5.

Sistema de Movimiento

La demanda de sistemas robotizados y automatizados ha creado la necesidad de desarrollar actuadores, sensores y sistemas de control más eficientes

Actuadores

Mejores actuadores contribuyen a lograr un dispositivo mas eficiente. Algunos actuadores con características que se tienen que considerar son: servomotores con módulos de potencia, control y comunicaciones integrados; motores con relaciones potencia – peso – tamaño – energía muy eficientes; actuadores lineales y rotacionales de alta precisión, algunos con muy bajo o cero juego[6] entre partes y poca histéresis; servomotores acoplados directamente a la carga, es decir con cero juego entre piezas debido a que no cuentan con reductor de velocidad mecánico.

Sensores de Movimiento

Los sensores son un elemento clave en la configuración del dispositivo, es necesario definir las necesidades de velocidad de adquisición, precisión y exactitud para poder especificar el sensor adecuado. Vale la pena mencionar y tomar en cuenta algunos sensores con características interesantes como son: el codificador angular eléctrico (*electric encoder*) que además de ser robusto alcanza mejor precisión en comparación con los magnéticos y algunos ópticos. Lo que se busca es encontrar codificadores angulares con buenas características de confiabilidad, costo, peso, consumo de energía, tamaño y precisión.

Control

Un menor tamaño, la reducción en el consumo de energía, el incremento en la velocidad, capacidad de procesamiento y memoria distinguen a los sistemas de control como los de mayor desarrollo en los últimos años. En un sistema los dispositivos de control (hardware + software) influyen en gran medida en el buen desempeño. Se pueden implementar algoritmos para incrementar la exactitud con la que los sensores miden, mejorar la precisión de movimiento de los actuadores,

[6] También conocido en inglés como "*backlash*".

reducir el consumo energético, acercar los movimientos reales a los ideales para lograr movimientos mas suaves y eficientes. Estas mejoras son posibles porque los actuales dispositivos de hardware soportan complejos algoritmos en forma de software. Entre los elementos de control que se deben tomar en cuenta para el diseño están: los microcontroladores (PIC de Microchip[7], Intel, Nitron de Motorola ahora Freescale, AVR de Atmel y otros) que integran un microprocesador, memoria, puertos de entrada y salida en un solo componente de bajo costo y gran desempeño; los DSP's o procesadores digitales de señales o una combinación de DSP's y microcontroladores. Con estos dispositivos se pueden plantear soluciones modulares, sistemas de control distribuido y redundancias para mejorar la confiabilidad del sistema.
Por último el control basado en PC ofrece una gran flexibilidad en la programación, grandes capacidades para almacenar, procesar y comunicar datos. Por medio de interfaces se puede interactuar fácilmente con actuadores y sensores.

2.2 IMPORTANCIA DEL USO DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO

El diseño tiene mayor influencia en el costo, calidad y tiempo de manufactura de un producto[8] respecto a los otros factores como materiales, mano de obra, etc. Esto es debido a que un cambio durante la etapa de diseño consume tiempo de ingeniería pero no es necesario hacer cambios físicos que generalmente consumen más tiempo y dinero.

Un proceso o modelo de diseño es un conjunto de actividades enfocadas a desarrollar un producto o una máquina con el fin de satisfacer una necesidad o resolver un problema.

Algunos beneficios de seguir una metodología de diseño son: mejorar el control de recursos y tiempos, facilitar el trabajo en equipo, aumentar las posibilidades de obtener resultados exitosos, facilitar la comunicación y aprendizaje del diseño, facilitar el uso de técnicas especializadas y facilitar la documentación del proceso.

Sin embargo es necesario tomar en cuenta lo que mencionan Günther y Ehrlenspiel[9] respecto a que se pueden tener procesos de diseño en dos categorías:

---

[7] Marca registrada de Microchip Technology Incorporated
[8] David G. Ullman "The Mechanical Design Process", McGraw-Hill 1992.
9 Joachim Günther and Klaus Ehrlenspiel, "Comparing designers from practice and designers with systematic design education", Design Studies Vol. 20 No. 5 Elsevier 1999 Great Britain.

a) Un proceso corto de diseño con documentación mínima y llevado a cabo con restricciones de tiempo, puede no ser la solución óptima, pero puede ser una buena solución.

b) El diseño resultante debe ser óptimo, por ejemplo, innovador, seguro, de bajo costo, etc. El proceso necesario para alcanzar esas metas seguramente será mayor que el promedio.

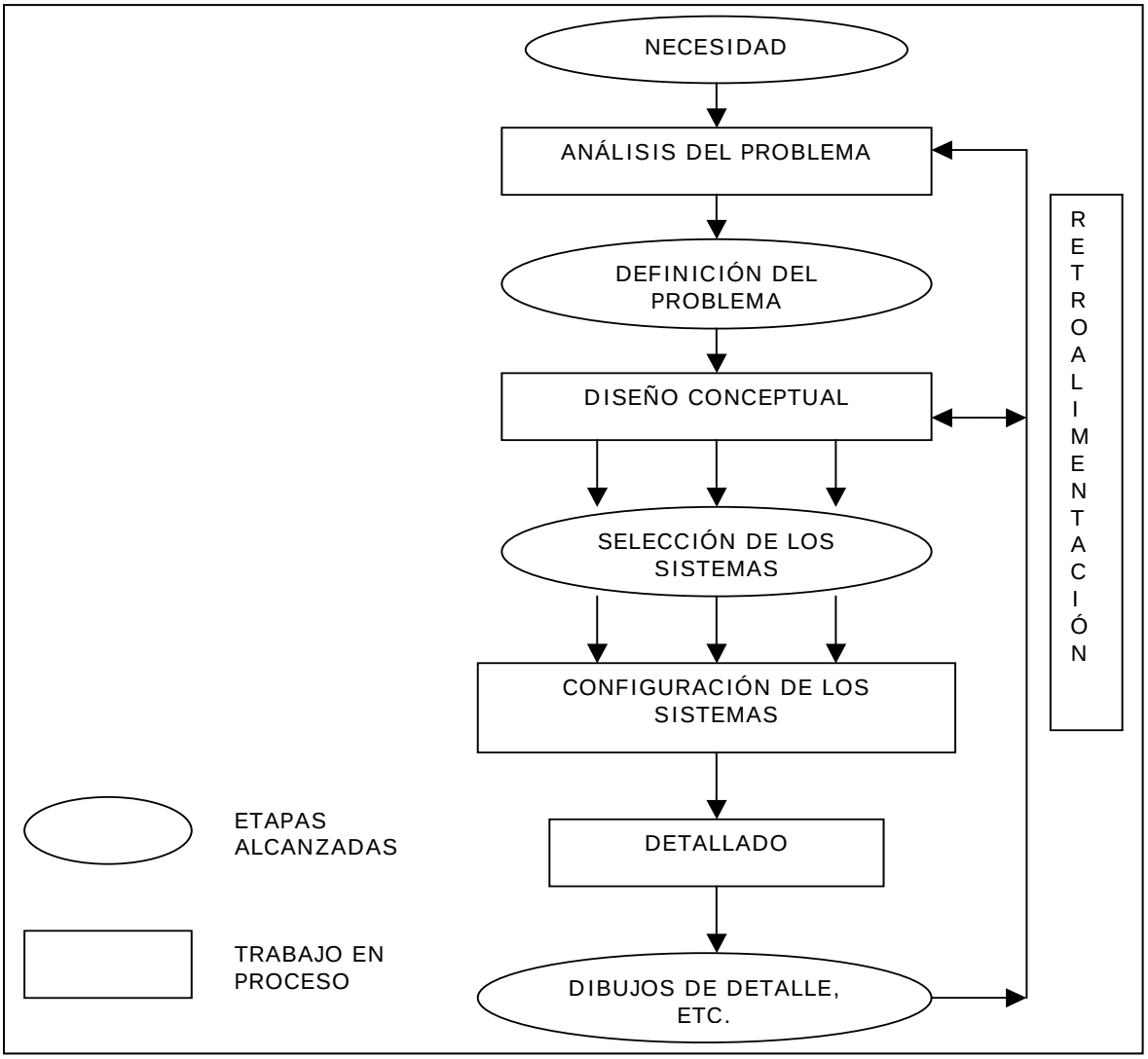
La mayoría de los diseños prácticos caen en la categoría (a). Esto se debe tomar en cuenta al proponer un proceso de diseño que originalmente se enfoque a desarrollar productos de óptima calidad, si es así, entonces deberán incluir métodos y técnicas que ayuden a diseñar en un tiempo mínimo y con el menor esfuerzo.

2.3 PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.3.1 JUSTIFICACIÓN

El diseño es un proceso iterativo, en cada ciclo se sabe más acerca de la solución del problema. Para cumplir con requerimientos como confiabilidad, tiempo y costo es necesario hacer el proceso de diseño más eficiente, es decir obtener más conocimiento en menos tiempo. Una manera de hacer más eficiente el proceso de diseño es sistematizándolo.
Sistematizar el diseño es seguir un procedimiento ordenado, documentado y lógico que permita dividir el trabajo, facilitar el flujo de ideas, prevenir el error humano, el azar y en lo posible las decisiones subjetivas. Teniendo un proceso sistematizado se facilita el uso de herramientas de cómputo y gracias a esto se puede ahorrar tiempo por ejemplo aplicando soluciones ya conocidas. La materialización de la sistematización es una metodología de diseño.

2.3.2 PRINCIPALES METODOLOGÍAS DE DISEÑO



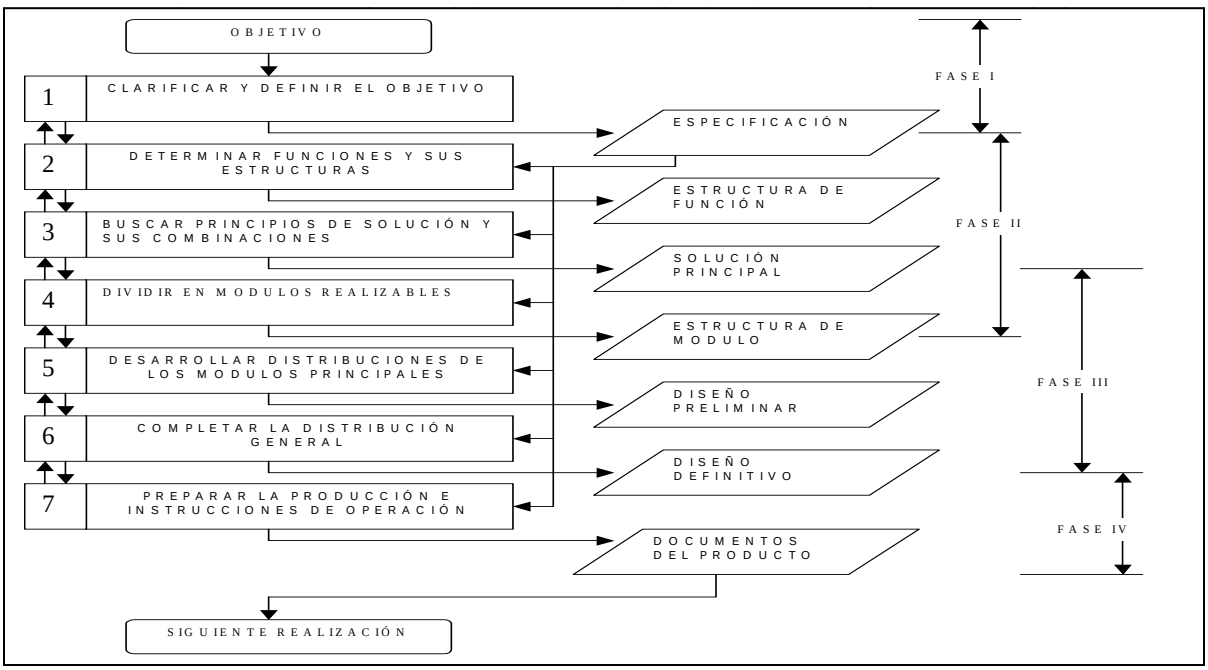


Figura 20. Aproximación general al diseño, de acuerdo con el estándar VDI 2221 (9)

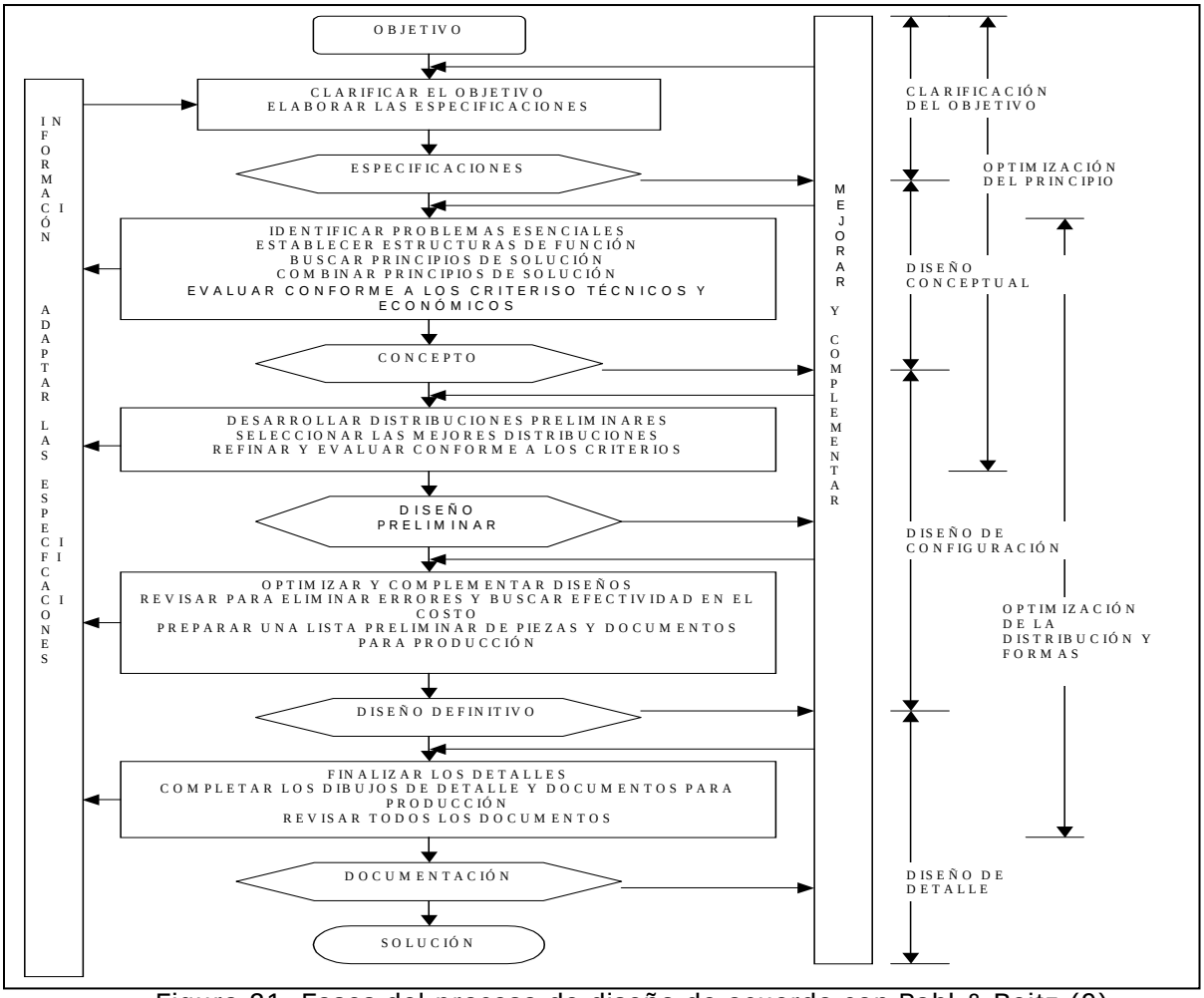


Figura 21. Fases del proceso de diseño de acuerdo con Pahl & Beitz (9)

Las figuras 19, 20 y 21 muestran algunas propuestas esquematizadas de procesos de diseño.

Las metodologías de diseño no son recetas que se deben seguir rigurosamente, son lineamientos y propuestas que sirven de guía durante el proceso de diseño. Finalmente cada diseñador adaptará la metodología dependiendo del problema específico y en mayor medida de su experiencia, conocimientos y habilidades. Además se puede dar el caso de una adaptación durante el proceso de diseño provocada por el resultado de pruebas parciales.

Cuando se quiere resolver un problema, es posible que metodologías de diseño generales se puedan utilizar en casi todos los casos; sin embargo metodologías más especializadas podrían ser de mayor ayuda para el diseñador. El grado de especialización de la metodología estará en función del número de tareas en que se puede aplicar con éxito.

Metodología de diseño para sistemas de monitoreo de deformaciones volcánicas en tiempo real

Uno de los objetivos de esta tesis es proponer una metodología de diseño específica que se utilizará para desarrollar un tipo de sistemas. Partiendo de un proceso de diseño general se pueden insertar módulos de diseño con propósito especializado. El nivel de detalle que se le da a cada paso y a cada módulo es función de los parámetros que se quieren controlar para el problema. Se debe encontrar un balance entre el nivel de generalización de la metodología y la utilidad para la aplicación particular, ver Figura 22.

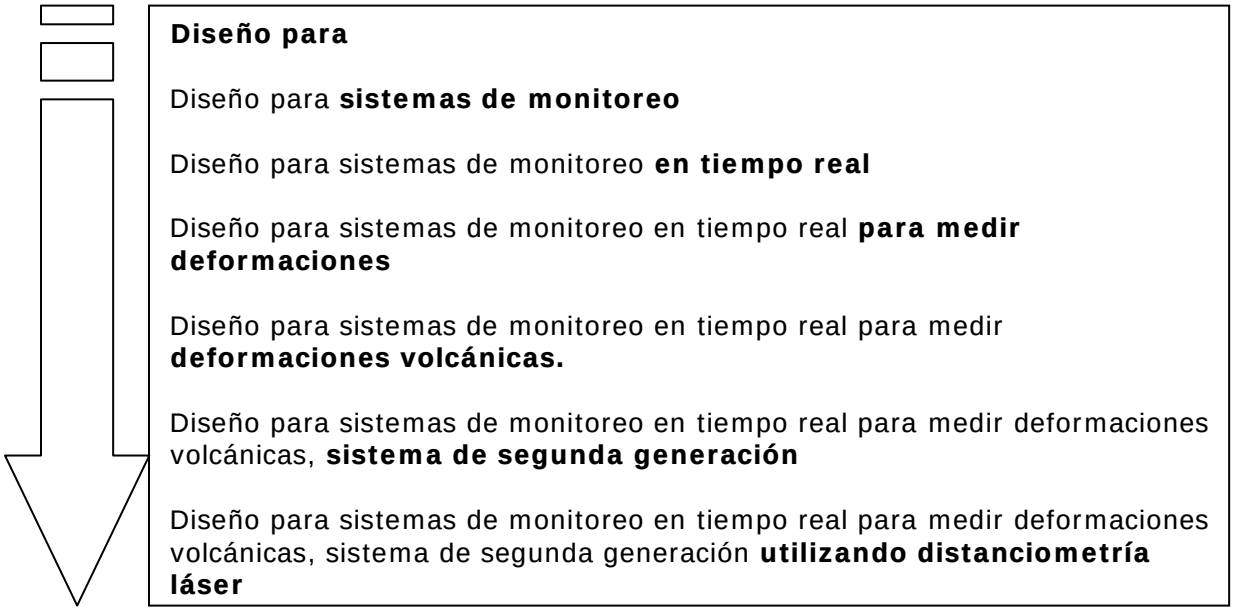


Figura 22. Cambio del nivel de generalización de la metodología

En primer lugar se expondrá una metodología general, es decir no se abordará la aplicación específica del diseño de un sistema automatizado de segunda generación para el monitoreo continuo de deformaciones volcánicas; después se realizarán modificaciones y se agregarán procedimientos específicos (diseños para x).

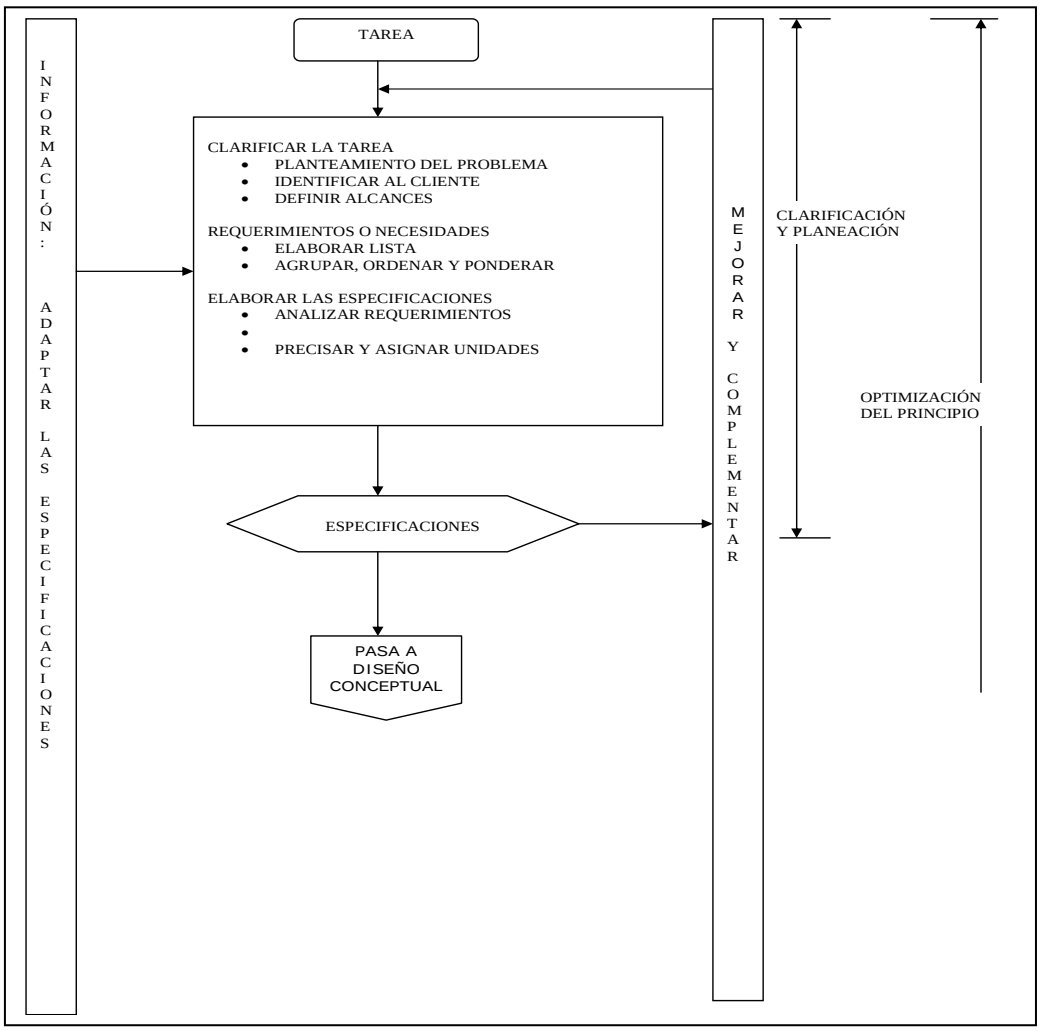
Metodología general

Se toma como base la metodología propuesta por Pahl y Beitz[10]. Consiste en pasos de análisis y síntesis para resolver el problema de diseño, va de lo cuantitativo a lo cualitativo.

Las etapas involucradas son:

- **Clarificación del problema**
- **Diseño conceptual**
- **Diseño de configuración**
- **Diseño de detalle**
-

2.3.3 CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANEACIÓN



[10] G. Pahl & W. Beitz, “Engineering Design A Systematic Approach”, Springer-Verlag 1988.

Figura 23. Metodología propuesta, etapa de clarificación de objetivo.

Clarificar o entender el problema se entiende como recolectar información acerca de los requerimientos y de las restricciones. El resultado es una lista detallada de especificaciones y una idea clara del problema.

El problema o la tarea se debe definir de manera completa y clara. Las siguientes preguntas pueden ayudar:

- ¿Qué objetivos intenta satisfacer la solución?
- ¿Qué propiedades debe tener?
- ¿Qué propiedades no debe tener?

La lista de requerimientos preliminar puede haberse obtenido de una etapa previa conocida como **PLANEACIÓN** del producto en donde además se elabora una descripción general del mismo, se planean tiempos y metas, se define el mercado y se identifican los clientes. Los requerimientos de la lista preliminar o de una nueva lista se agrupan, se ordenan jerárquicamente y se les asigna una importancia relativa.

Los primeros pasos para clarificar el problema pueden ser:

- Plantear el problema
- Identificar al cliente
- Definir alcances

Una vez cubiertos los puntos anteriores se procede a la elaboración de una lista de requerimientos (ver Figura 24), la principal fuente de información será el cliente.

Elaborar lista de requerimientos

Características de los requerimientos:

- En la lista de requerimientos se debe diferenciar entre demandas (condición) y deseos, las demandas se deben satisfacer con la solución y los deseos se tomarán en cuenta cuando sea posible.
- Los requerimientos se expresan en términos de lo que la solución debe satisfacer, no en términos de cómo lo debe hacer. Esto permite mayor libertad para la fase de diseño conceptual.
- Los requerimientos serán tan específicos como sea necesario, es importante evitar perdida de información.
- Algunos lineamientos que pueden ayudar son: usar frases positivas, no negativas, esto facilita el paso de requerimientos a especificaciones; expresar los requerimientos como un atributo del producto; evitar las palabras debe y puede, la importancia se asignara en un paso posterior.
- Se deben incluir cualquier tipo de indicaciones, intenciones y procedimientos, lo que lleva a que sea un trabajo de recolección de demandas y deseos expresados en el lenguaje de todos los departamentos involucrados en el proceso de diseño.

TEMOHUANI 2
LISTA DE REQUERIMIENTOS

T2 A REQUERIMIENTOS.xls

A3
23/03/2006 10:36 a.m.

No.	Clasificación	Requerimiento	Importancia (Condición / Deseo)	Observaciones	Fuente	Fecha Cambio	En Especificaciones (SI / NO)	ESTADO (Cancelado, Falta cumplir, Cumple)

Figura 24. Propuesta de una lista de requerimientos

Algunos requerimientos pueden ser contradictorios, repetitivos o no pueden ser tecnológicamente realizables, es por eso que la lista de requerimientos requiere ser procesada.

Los pasos para procesar una lista de requerimientos pueden ser:

1. Recopilar y anotar requerimientos
2. Agrupar
3. Asignar importancia relativa por grupo
4. Ordenar por grupo y por jerarquía.

Puede ser útil escribir la lista de requerimientos con base en sub-sistemas (funciones o ensambles) donde estos puedan ser identificados, o de otro modo basado en una lista de comprobación como la que se muestra en la figura 25.

Puntos	**Ejemplos**
Geometría	Tamaño, altura, anchura, longitud, diámetro, espacio requerido, número, conexión, extensión.
Cinemática y Dinámica	Tipo de movimiento, dirección de movimiento, velocidad, aceleración
Fuerzas	Dirección de la fuerza, magnitud de la fuerza, peso, carga, deformación, rigidez, elasticidad, estabilidad, resonancia.
Energía	Eficiencia, perdidas, fricción, potencia, ventilación, seguridad, temperatura, calefacción, refrigeración, proveeduría, almacenamiento, capacidad, conversión.
Materiales	Propiedades físicas y químicas del producto final e inicial, materiales auxiliares, materiales especiales (regulación de alimentos)
Señales	Entradas y salidas, forma, despliegue, equipo de control
Seguridad	Principios de seguridad, sistemas de protección, operacional, seguridad del operador y del medio ambiente.
Ergonomía	Relaciones hombre-máquina, tipo de operación, iluminación, aspectos estéticos, orden
Producción	Limitaciones de manufactura, dimensiones máximas, métodos preferidos de producción, medios de producción, calidad y tolerancias alcanzables.
Control de calidad	Posibilidad de pruebas y mediciones, aplicación de regulaciones y normas especiales.
Instalación	Regulaciones especiales, ensamble, colocación, cimentación
Transporte	Limitaciones debido a elevadores, claros o espacios, medios de transporte (altura y peso), naturaleza y condiciones de envío.
Operación	Ruido, suciedad, usos especiales, área de venta, destinos(por ejemplo: atmósfera sulfurosa, condiciones tropicales)

Mantenimiento	Intervalos de servicio (si existe), inspección, cambio y reparación, pintura, limpieza.
Reciclado	Re uso, re procesamiento, deposición de residuos, almacenamiento.
Costos	Costos permisibles de manufactura, costos de maquinado y herramental, inversiones y depreciación.
Cronogramas	Fecha final de desarrollo, plantación de proyecto y control, tiempo de entrega.

Figura 25. Lista de comprobación para el desarrollo de lista de requerimientos.

Especificaciones de diseño

Características de las especificaciones:

- Las especificaciones preferentemente deben cuantificarse y definirse en términos claros.
- Una tabla de especificaciones generalmente contiene los siguientes campos: número (id), clasificación o grupo al que pertenece (subsistemas, funciones, ensambles), requerimientos de referencia, la especificación, valor nominal, tolerancias, unidades, definir si es condición o deseo (grado de importancia de los deseos), fuente (quien lo promueve), fecha de cambio, estado.
- Es necesario crear formularios estándar para la lista de requerimientos y la tabla de especificaciones, un ejemplo se muestra en la figura 26.
- La lista de requerimientos y su tabla de especificaciones asociada serán consultadas, revisadas y actualizadas durante todo el proceso de diseño.

TEMOHUANI 2
ESPECIFICACIONES

T2 A ESPECIFICACIONES.xls

A5

23/03/2006 10:31 a.m.

No.	Clasificación	Referencia Requerimiento	ESPECIFICACIÓN	Valor Nominal	Tolerancia	Unidades	Nota	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	Fecha Cambio	ESTADO (CANCELADO, FALTA CUMPLIR o CUMPLE)

Figura 26. Propuesta de una tabla de especificaciones

Es importante diseñar los formularios para que sean compatibles con sistemas electrónicos de manejo de información. Una base de datos para almacenar, procesar y consultar la información de requerimientos y especificaciones agilizará la el proceso de diseño en curso y además podría proporcionar información valiosa para diseños posteriores. Los sistemas de información y principalmente las bases de datos se manejan por tablas, las tablas se forman de registros y campos. Los formatos pueden servir como punto de partida para crear tablas y bases de datos.

2.3.4 DISEÑO CONCEPTUAL

La fase de diseño conceptual sirve para determinar el **principio de solución**.

Para poder iniciar esta etapa se recomienda primero intentar responder las siguientes preguntas:

- ¿Se ha clarificado suficientemente la tarea para permitir el desarrollo de una solución en forma de un diseño?
- ¿Se debe adquirir más información sobre la tarea?
- ¿Es posible alcanzar los objetivos seleccionados con las restricciones financieras dadas?
- ¿Realmente se necesita elaborar un concepto o las soluciones conocidas permiten el progreso directo a las fases de diseño de configuración y detalle?
- Si la fase conceptual es indispensable, ¿cómo y en que extensión se debe desarrollar sistemáticamente?

Pasos del Diseño Conceptual.

El procedimiento a seguir para el diseño conceptual es:

1. **Se identifican los problemas esenciales por medio de la abstracción.**
2. **Se establecen estructuras de función.**
3. **Se buscan principios de funcionamiento.**
4. **Se combinan los principios de funcionamiento para formar estructuras de funcionamiento.**
5. **Se seleccionan las estructuras de funcionamiento**
6. **Se afianzan las estructuras de funcionamiento y se convierten en principios de solución.**
7. **Se evalúan contra criterios técnicos y económicos.**

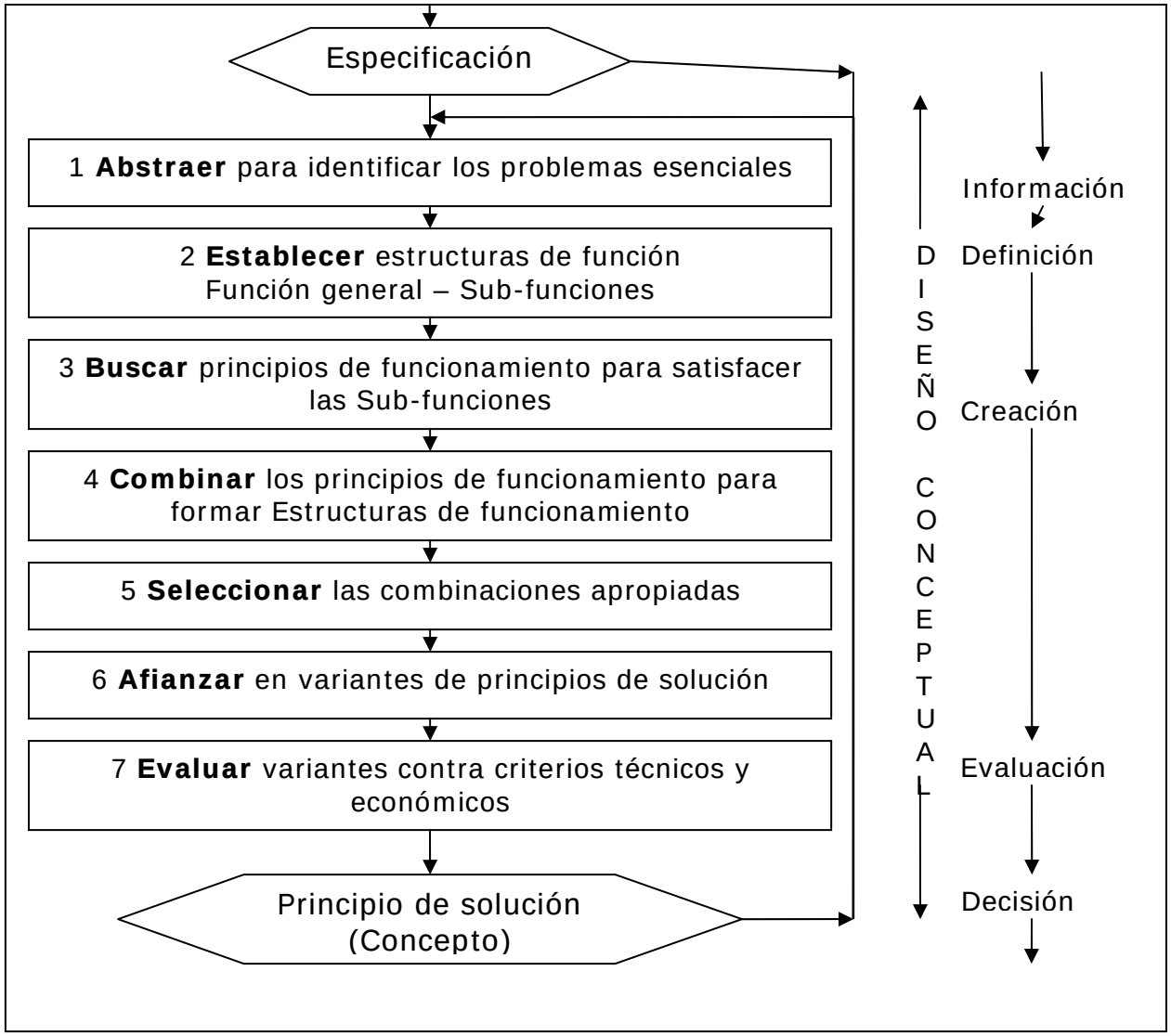


Figura 27. Diseño conceptual

1. Abstracción para identificar los problemas esenciales

La abstracción se usa para resolver el problema de fijación de las ideas convencionales. Esto se hace ignorando lo que es particular o incidental y resaltando lo general y esencial.

La identificación de la parte crucial de la tarea junto con las conexiones funcionales y las restricciones específicas finalmente muestran los problemas esenciales para los que hay que encontrar solución.

Pasos para la formulación del problema analizando la lista de requerimientos:

a. Eliminar preferencias personales
b. Omitir requerimientos que no tengan ingerencia directa en la función y restricciones esenciales.

c. Transformar los datos cuantitativos en cualitativos y reducirlos a enunciados esenciales
d. Generalizar los resultados del paso anterior.
e. Formular el problema en términos neutrales de solución o sin tendencias de solución.

2. Establecer estructuras de función

Los requerimientos determinan la función, esto es, la relación entre entradas y salidas.
Una vez que se ha formulado lo crucial del problema general es posible definir una función general. La función general utiliza diagramas de bloques y se basa en el flujo de energía, materia y señales para expresar la relación entre entradas y salidas independientemente de la solución. Esta relación debe de especificarse con la mayor precisión posible.

Descomposición en sub-funciones

Una función general puede ser compleja pero se puede dividir en sub-funciones de menor complejidad. La combinación de las sub-funciones individuales resulta en una estructura funcional que representa la función general.

El propósito de descomponer funciones complejas es:

- Determinar sub-funciones que faciliten la búsqueda de soluciones; y
- Combinar éstas sub-funciones en una estructura funcional simple y sin ambigüedades.

En diseños originales establecer una estructura de función óptima constituye algunos de los pasos más importantes en la fase del diseño conceptual. En el caso de diseños adaptados o rediseños se conoce mejor la estructura general con sus ensambles y componentes, de tal forma que la estructura funcional se puede conocer al analizar el producto a ser desarrollado.

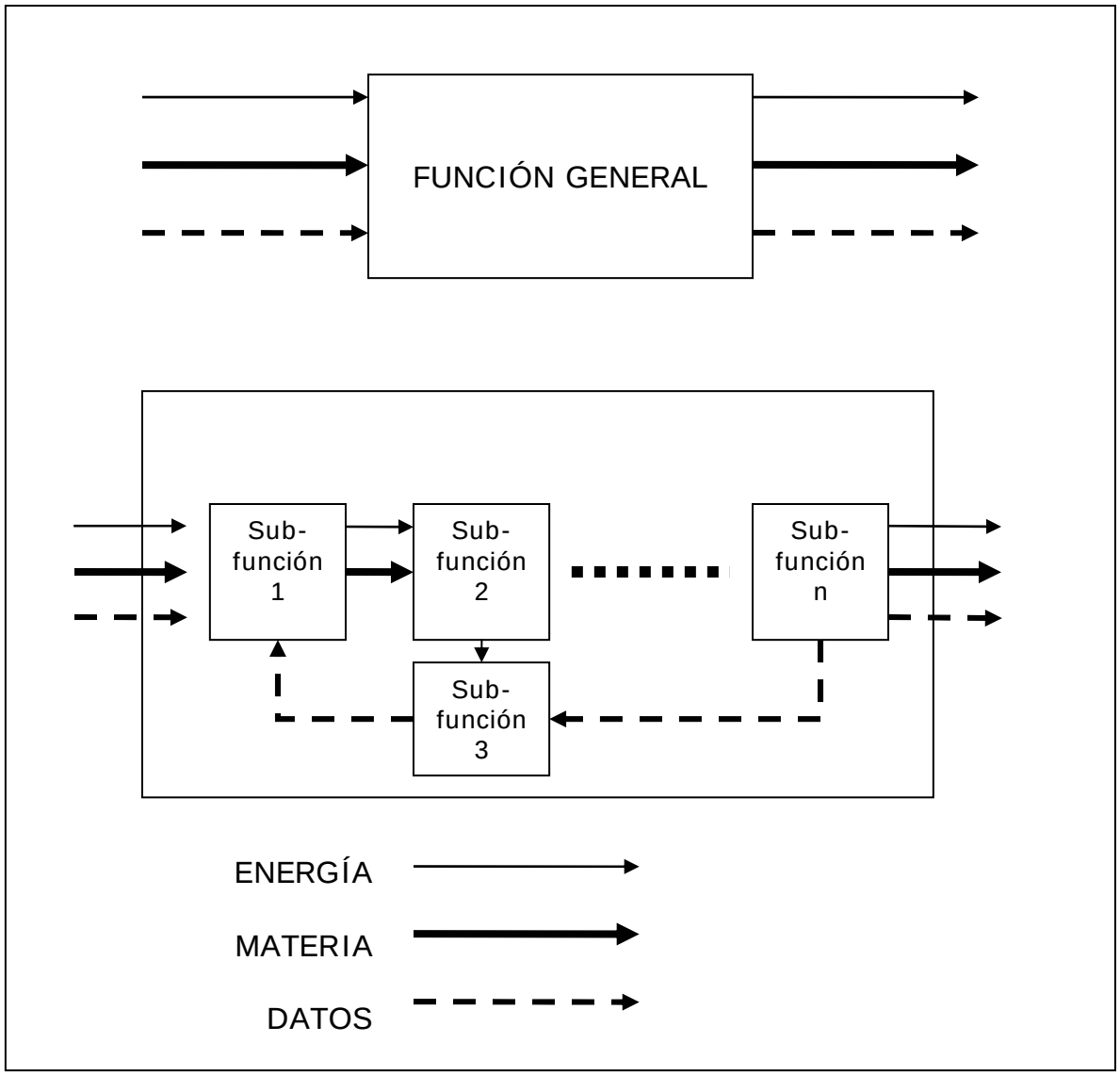


Figura 28. Estructura funcional

3. Búsqueda de principios de funcionamiento

Se deben encontrar principios de funcionamiento para las diferentes sub- funciones y estos principios eventualmente deben ser combinados en una estructura de funcionamiento. La concretización o afianzamiento de la estructura de funcionamiento conducirá al principio de solución.
Un principio de funcionamiento debe reflejar el efecto físico necesario para el cumplimiento de una función dada además de su geometría y materiales. Las ideas teóricas sobre la naturaleza y forma de las soluciones para funciones generalmente se presentan con diagramas o bosquejos a mano alzada.

La idea es obtener un campo de soluciones que puede ser construido con variaciones de los efectos físicos y de las características de forma de diseño. Es más, para

satisfacer una sub-función particular, muchos efectos físicos deben ser involucrados en una o varias soluciones para funciones.

En la búsqueda de principios de funcionamiento se pueden utilizar los siguientes métodos: búsqueda en la literatura, métodos para analizar sistemas tecnológicos conocidos y naturales, métodos basados en la intuición. También pueden ayudar el análisis sistemático de procesos físicos y el uso de esquemas de clasificación. Otras importantes herramientas son los catálogos de diseño como se muestra en la Tabla 3.

Aplicación	**Títulos**
Principios de solución	Efectos físicos
	Solución para funciones
Conexiones	Tipos de conexiones
	Conexiones
	Conexiones fijas
	Uniones soldadas para perfiles de acero
	Uniones remachadas
	Uniones con adhesivos
	Elementos de sujeción
	Principios de uniones con tornillos
	Eliminación del juego en uniones con tornillos
	Juntas elásticas
	Conexiones flecha – orificio
Guías y rodamientos	Guías lineales
	Guías rotacionales
	Rodamientos planos y rolados
	Rodamientos y guías
Generación de potencia, transmisión de potencia	Motores eléctricos (pequeños)
	Controladores y actuadores
	Generadores de potencia (mecánica)
	Efectos para generar energía
	Multiplicación de potencia en una sola etapa
	Mecanismos de elevación
	Actuadores de tornillo
	Sistemas de fricción

Tabla 3. Ejemplo de catálogos de diseño.

4. Combinación de los principios de funcionamiento

Para cumplir con la función general es necesario elaborar soluciones generales utilizando la combinación de principios, esto se conoce como la síntesis del sistema. Las combinaciones se basan en la estructura de función establecida en pasos anteriores que refleja las asociaciones de funciones lógica o físicamente posibles o utilizables.

Se puede utilizar la tabla o esquema de clasificación de Zwicky[11] en donde las sub-funciones y las soluciones apropiadas (principios de funcionamiento) son introducidas en los renglones de la tabla. Combinando un principio de funcionamiento (Fig.29) que satisface una sub-función específica con el principio de funcionamiento de una sub-función vecina se obtiene una solución general en la forma de una estructura de funcionamiento posible. En éste proceso únicamente se deben combinar los principios de funcionamiento que sean compatibles (Fig.29).

Soluciones / Sub-funciones		1	2	…	j	…	m
1	F1	S11	S12		S1j		S1m
2	F2	S21	S22		S2j		S2m
…		…	…		…		…
i	Fi	Si1	Si2		Sij		Sim
…		…	…		…		…
n	Fn	Sn1	Sn2		Snj		Snm

Figura 29. Combinando principios de solución en combinaciones de principios: Combinación 1: S11+S22+....Sn2; Combinación 2: S11+S21+ ... Sn1.

F1 / F2		1	2	3	4
	A				
	B				
	C				

	Muy difícil de aplicar (no seguir intentando)
	Se puede aplicar únicamente bajo ciertas circunstancias

Figura 30. Matriz de compatibilidad para la posibilidad de combinaciones de dos sub-funciones

Resumen de recomendaciones:

- Únicamente combinar sub-funciones compatibles
- Únicamente promover aquellas soluciones que cumplan las demandas de la lista de requerimientos y que parezca que entran dentro de presupuesto.
- Concentrarse en combinaciones prometedoras y establecer porque estas deben de preferirse sobre el resto.

[11] Zwicky, F.; Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. München: Droemer-Knaur 1966-1971.

5. Selección de estructuras de funcionamiento adecuadas

El procedimiento recomendado es seleccionar e indicar preferencias haciendo uso de tablas esquemáticas de selección. La tabla de selección para las diferentes estructuras de funcionamiento proviene del esquema de combinación. Otra posibilidad para una rápida selección es utilizar los esquemas de clasificación bidimensionales que son similares a las matrices de compatibilidad.

Empresa | Tabla de selección | 1 de 1

Seleccion estructura de funcionamiento.xls

Variantes de solución (Sv)		Variantes de solución (Sv) evauladas por: CRITERIO DE SELECCIÓN: (+) SI (-) NO (?) Falta de información (!) Revisar lista de requerimientos								DECISIÓN (+) Continuar solución (-) Eliminar solución (?) Recolectar información (reevaluar solución) (!) Revisar lista de requerimientos
		Compatibilidad asegurada								
			Cumple las demandas de la lista de requerimientos							
				Realizable en principio						
					Dentro de costos permisibles					
						Incorpora medidas de seguridad directas				
							Preferido por los diseñadores de la compañía			
								Información adecuada		
Sv		A	B	C	D	E	F	G	Razones, indicaciones	DECISIÓN
V1	1									
V2	2									
V3	3									
V4	4									
V5	5									
V6	6									
V7	7									
	8									
	9									
	10									
	11									
	12									
	13									
	14									
	15									
	16									
	17									
	18									
	19									
	20									
	21									
	22									
	23									
	24									
	25									
	26									
	27									
	28									
	29									
	30									

06/05/2005 12:08 p.m.

Figura 31. Selección de estructuras de funcionamiento

Función 1 / Función 2	Función 1 Principio de solución 1 (croquis)	Función 1 Principio de solución 2 (croquis)	Función 1 Principio de solución 3 (croquis)
Función 2 Principio de solución1 (croquis)	Combinación 11 (croquis)	Combinación 12 (croquis)	Combinación 13 (croquis)
Función 2 Principio de solución2 (croquis)	Combinación 21 (croquis)	~~Combinación 22 (croquis)~~	Combinación 23 (croquis)
Función 2 Principio de solución3 (croquis)	Combinación 31 (croquis)	~~Combinación 32 (croquis)~~	Combinación 33 (croquis)

Figura 32. Combinación y eliminación sistemática de variantes. Se eliminan las combinaciones que sean no viables en principio (por ejemplo las combinación 22 y la 32)

El desarrollo de estructuras de funcionamiento es la etapa más importante para diseños originales. Esta etapa requiere de la creatividad de los diseñadores. Esta creatividad se ve influenciada por la presencia de conocimientos asociados con la solución de problemas, por el uso de metodologías generales de trabajo y por métodos para encontrar y evaluar soluciones.
La etapa de generación de principios de funcionamiento, a través de la búsqueda de efectos físicos y las características de diseño de forma, frecuentemente se integra cuando se producen bosquejos o croquis para las soluciones.

6. Consolidación en variantes del principio de solución

Los principios de funcionamiento elaborados anteriormente no son lo suficientemente concretos como para llegar a un concepto definitivo. Las estructuras de funcionamiento se basan y pretenden cumplir la función técnicamente. Sin embargo un concepto debe también satisfacer las condiciones descritas a continuación:

- **Seguridad:** incluyendo el aspecto más amplio de confiabilidad y disponibilidad.
- **Ergonomía:** contexto humano – máquina, también aspecto estético.
- **Producción:** instalaciones de producción y tipo de producción.
- **Control de calidad:** a través del proceso de producción.
- **Ensamble:** durante y después de la producción de partes.
- **Transporte:** dentro y fuera del lugar de fabricación.
- **Operación:** uso sugerido, manejo.
- **Mantenimiento:** servicio, inspección y reparación.
- **Reciclado:** re-uso, reproceso, desecho y deposito final.
- **Gastos:** costos, calendarios y fechas de entrega.

Para poder evaluar las combinaciones de los principios de funcionamiento es necesario adquirir mayor información, para lo cual se pueden utilizar algunos de los siguientes métodos:

- Cálculos crudos basados en suposiciones simplificadas;
- Croquis o dibujos sin detalles de posibles configuraciones, formas, requerimientos de espacio, compatibilidad, etc.;
- Experimentos preliminares o prueba de modelos para determinar las principales propiedades, o afinar suposiciones cuantitativas acerca del desempeño y objetivos a optimizar;
- Construcción de modelos para ayudar al análisis y visualización;
- Modelado utilizando analogías y simulación de sistemas, generalmente con ayuda de computadoras;
- Búsqueda de patentes y la literatura con objetivos mas concretos; y
- Investigación de mercado de las tecnologías propuestas, materiales, partes, etc.

Con la nueva información es posible afianzar las combinaciones de principios de solución mas prometedoras al punto en el que pueden ser evaluadas.

7. Evaluando las variantes del principio de solución

Pasos recomendados para la evaluación de las variantes de principio de solución.

Identificación del criterio de evaluación:

Es una nueva selección basada en la lista de requerimientos utilizando la información recabada en las últimas etapas. Los requerimientos se convierten en criterios de evaluación. Es necesario considerar criterios técnicos, económicos y de seguridad al mismo tiempo. Los criterios de evaluación se derivan de los temas principales mostrados en la lista de la figura 33 Los criterios de evaluación se derivan de:

1. Requerimientos de la lista de requerimientos. Probabilidad de satisfacer las condiciones, capacidad de exceder los requerimientos mínimos y deseos
2. Características técnicas y económicas.

El número total de criterios de evaluación no debe ser muy alto: entre 8 y 15 criterios son suficientes.

Tema principal
Función
Principio de funcionamiento
Configuración
Seguridad
Ergonomía
Producción
Control de calidad
Ensamble
Transporte
Operación
Mantenimiento
Reciclado
Costos

Figura 33. Lista de verificación con temas principales para la evaluación de diseño durante la etapa conceptual.

Sopesado del criterio de evaluación:
Es necesario concentrarse en las características principales, ignorando las características de bajo peso o poca importancia.

Compilación de parámetros:
Es útil enlistar los criterios de evaluación ya identificados siguiendo la secuencia de la lista de verificación de temas principales y asignándoles los parámetros de las variantes. Se debe de incluir información cuantitativa y la información cualitativa se tendrá que correlacionar con una escala de valores.

Evaluación utilizando valores
Se puede definir una escala de 0 a 4. Para la evaluación de valores económicos se pueden tener representaciones como son: Evaluación de aspectos técnicos con aspectos económicos implícitos, evaluación técnica (Fig. 34) y económica (Fig. 35) por separado y comparación de criterios del consumidores y proveedores.

Variante / Criterio **TÉCNICO**	Variante 1 (croquis)	Variante 2 (croquis)	Variante 3 (croquis)	... (croquis)	Variante n (croquis)
Criterio Técnico 1	**3**	**4**	**4**	**4**	**3**
Criterio Técnico 2	**3**	**4**	**4**	**4**	**3**
Criterio Técnico 3	**4**	**3**	**4**	**4**	**4**
.....	**2**	**4**	**3**	**3**	**3**
Criterio Técnico n	**2**	**2**	**2**	**2**	**3**
TOTAL	**14**	**17**	**17**	**17**	**16**
Rt = Total/20	**0.7**	**0.85**	**0.85**	**0.85**	**0.80**

Figura 34. Evaluación técnica de las variantes de solución (con datos de ejemplo).

Variante / Criterio **ECONÓMICO**	Variante 1 (croquis)	Variante 2 (croquis)	Variante 3 (croquis)	... (croquis)	Variante n (croquis)
Criterio Técnico 1	**2**	**3**	**4**	**4**	**2**
Criterio Técnico 2	**2**	**1**	**3**	**3**	**3**
.....	**2**	**4**	**3**	**3**	**2**
Criterio Técnico n	**3**	**3**	**3**	**3**	**2**
TOTAL	**9**	**11**	**13**	**13**	**9**
Re = Total/16	**0.56**	**0.69**	**0.81**	**0.81**	**0.56**

Figura 35. Evaluación económica de las variantes de solución (con datos de ejemplo).

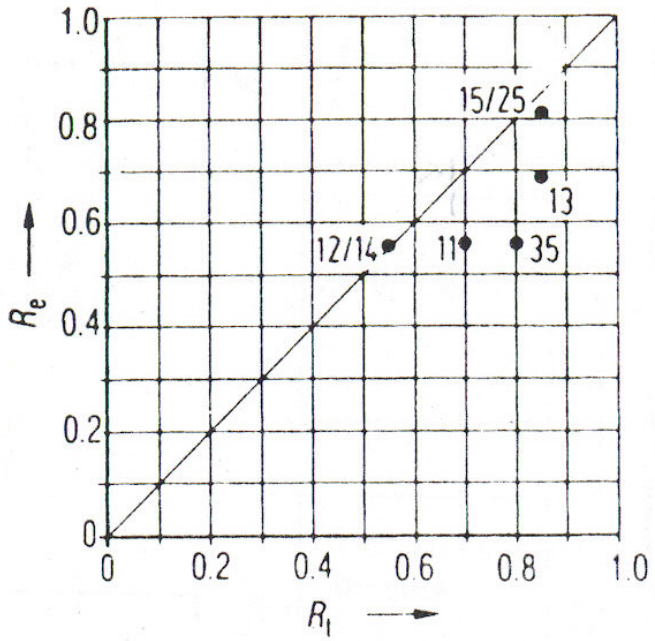


Figura 36. Comparación de factores de las variantes de solución técnicos contra económicos

Determinación del valor global
Es una simple suma de los puntos que se han asignado a los criterios de evaluación y las variantes.

Comparación de variantes de concepto
Una escala del valor relativa puede ser útil para las comparaciones, si las variantes de concepto se encuentran debajo del 60 % no se deberá seguir el desarrollo, si están por arriba del 80% y con un perfil de valor balanceado, es decir sin características individuales mala, entonces se puede pasar a la fase de diseño de configuración.

Estimación de incertidumbres de evaluación
Es un paso importante y no debe ser omitido.

Búsqueda de puntos débiles
Las variantes con una calificación alta pero con puntos débiles bien definidos podrían ser extremadamente problemáticos durante el desarrollo posterior. Los puntos débiles en las variantes favoritas pueden muchas veces ser eliminados con la transferencia de mejores sub-soluciones de otras variantes.

2.3.5 DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

Diseño de configuración es la parte del proceso de diseño en donde, iniciando de la estructura de funcionamiento o concepto de un producto tecnológico, el diseño se desarrolla de acuerdo a criterios técnicos y económicos hasta el punto en que el posterior diseño de detalle nos lleve directamente a producción (Fig. 37-A y 37-B).

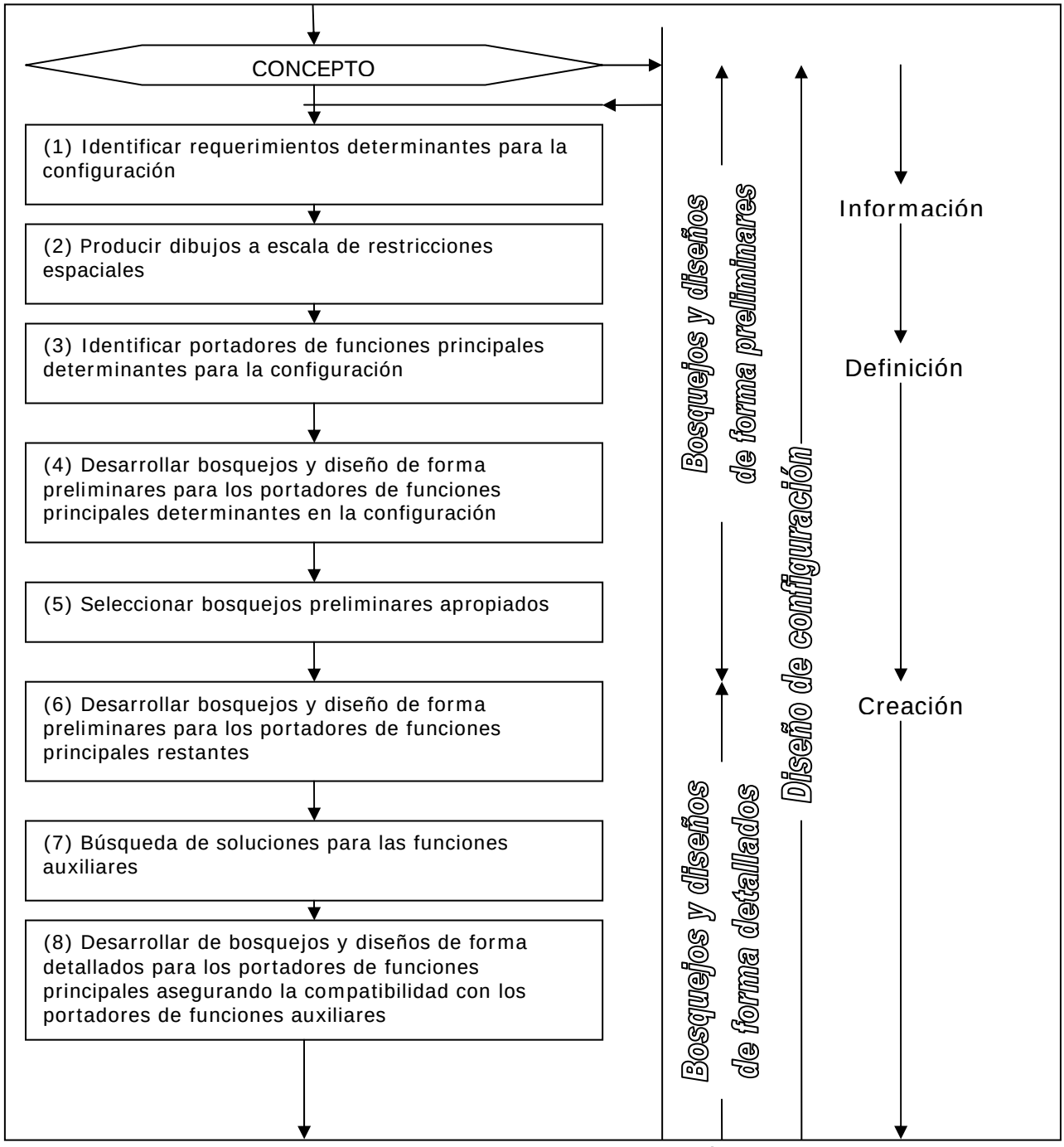


Figura 37-A. Diseño de configuración

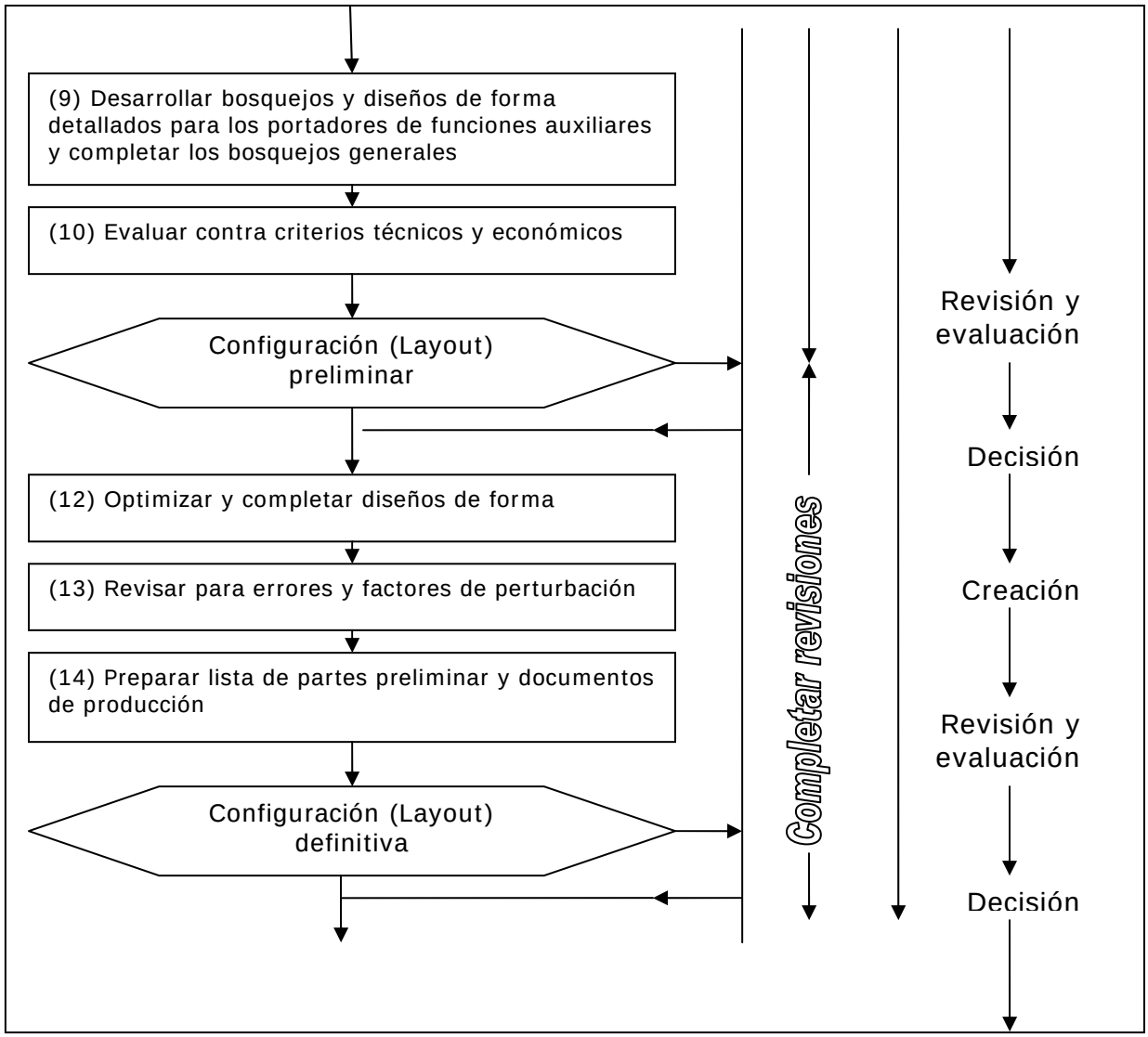


Figura 37-B. Pasos del diseño de configuración

La complejidad del proceso de configuración radica en que se deben tomar muchas acciones simultáneamente, algunos pasos se deben repetir con un mayor nivel de información, adiciones y modificaciones en un área tienen repercusiones en el diseño existente de otras áreas.

En un enfoque general para la etapa de diseño de configuración se recomienda siempre ir de lo cualitativo a lo cuantitativo, de lo abstracto a lo concreto y de los bosquejos a los diseños detallados, y además tomar en cuenta las listas de revisión y si es necesario correcciones.

Paso 1. De la lista de requerimientos se identifican aquellos que marcan una dirección crucial para el diseño de configuración:

- Requerimientos que determinan tamaño como salidas, entrega, tamaño de conectores, etc.

- Requerimientos que determinan arreglos como dirección de flujo, movimiento, posición, etc.
- Requerimientos que determinan material como resistencia a la corrosión, vida de servicio, materiales especiales, etc.

Paso 2. Se producen dibujos a escala de las restricciones espaciales que determinan o restringen el diseño de configuración. (Dibujos que muestren claros, posiciones de ejes, requerimientos de instalación, etc.).

Paso 3. Se produce un bosquejo preliminar derivada del concepto. Se produce poniendo énfasis en los portadores de funciones principales que determinan el diseño de configuración, es decir, los ensambles y componentes que satisfacen las funciones principales.

Paso 4. Se desarrollan bosquejos y diseño de forma y diseño de formas preliminares para los portadores de función principales determinantes de la configuración, es decir, se determinan provisionalmente el arreglo general, formas de componentes y materiales.

Paso 5. Se debe seleccionar una o mas configuraciones preliminares.

Paso 6. Se deben desarrollar bosquejos y diseños de forma preliminares para los portadores de funciones principales restantes todavía no considerados.

Paso 7. Determinar cuáles funciones esenciales auxiliares (soporte, retención, sello, enfriamiento) se necesitan, utilizar si es posible soluciones conocidas (repetir piezas, partes estándar, soluciones de catálogo).

Paso 8. Se desarrollan bosquejos y diseños de forma detallados para los portadores de función principales de acuerdo a las reglas y lineamientos de diseño, poniendo atención a las regulaciones, estándares

Paso 9. Desarrollar bosquejos y diseño de formas detallados para los portadores de funciones auxiliares, añadiendo partes estándar y compradas.

Paso 10. Evaluar bosquejos contra criterios técnicos y económicos.

Paso 11. Fijar la configuración preliminar global

Paso 12. Optimizar y completar los diseños de forma para el bosquejo seleccionado. Se eliminan los puntos débiles identificados en la evaluación.

Paso 13. Revisión del bosquejo para encontrar errores funcionales, errores de diseño, compatibilidad espacial. Aquí ya deben estar satisfechos los objetivos con respecto a costo y calidad

Paso 14. Preparación de una lista de partes y documentos preliminares de producción y ensamble.

Paso 15. Determinar el diseño de configuración definitivo y pasar a la fase de diseño de detalle

Existen algunas reglas básicas que se recomienda seguir durante el diseño de configuración.

- Claridad
- Simplicidad
- Seguridad

Que se derivan de los objetivos generales:

- Satisfacer técnicamente la función
- Factibilidad económica
- Seguridad individual y del medio ambiente.

PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

Algunos principios de diseño se pueden enunciar como: minimizar costos de manufactura, minimizar requerimientos de espacio, minimizar peso, minimizar fallas, optimizar manipulación, etc. Para el caso en estudio algunos principios de diseño serán cruciales y otros únicamente deseables.

Principios de transmisión de fuerza:

1. Líneas de flujo de fuerza y el principio de esfuerzo uniforme
2. Principio de ruta directa y corta de transmisión de fuerza
3. Principio de deformaciones acertadas
4. Principio de fuerzas balanceadas

Principios de división de tareas

1. Asignación de sub-funciones
2. División de tareas para distintas funciones
3. División de tareas para funciones idénticas

Principios de autoayuda

1. Soluciones auto reforzadas
2. soluciones auto balanceadas
3. soluciones auto protegidas

Principios de estabilidad y bi-estabilidad

1. Principio de estabilidad
2. Principio de bi-estabilidad

Principios de diseño a prueba de fallas

LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

Además de las tres reglas básicas de claridad, simplicidad y seguridad derivadas de los objetivos generales, se deben seguir un conjunto de guías para el diseño de configuración, a continuación se enlistan algunas:

Diseño para permitir expansión.
Diseño que permite el envejecimiento (creep) y la relajación.
Diseño a prueba de daño por corrosión.
Diseño para ergonomía.
Diseño para estética.
Diseño para producción.
Diseño para facilidad de ensamble.
Diseño para estándares.
Diseño para facilidad en mantenimiento.
Diseño para reciclado (diseño verde).
Diseño para minimizar riesgo.

Algunas de estas guías o “diseños para” se incluirán en la etapa de diseño de configuración de la metodología general.

Las guías (diseños para) con prioridad pueden ser las siguientes:

- Diseño de falla y efecto o confiabilidad
- Diseño para ensamble y manufactura

Consideraciones de diseño secundarias pueden ser:

- Diseño para mantenimiento
- Diseño ergonómico

Ejemplos de otros diseños para x que prácticamente no influirán en la metodología debido a las condiciones particulares del problema serán:

- Diseño verde

Las técnicas mencionadas deben tomarse en cuenta desde el principio del proceso de diseño.

Diseño para minimizar riesgo y Análisis de Modo y Efecto de Falla.

Debido a razones técnicas y económicas no siempre es posible cubrir todos los puntos del proyecto con análisis teóricos o experimentales, esto deja un riesgo remanente.
Lo que ocurre con frecuencia es que para evitar riesgos técnicos el ingeniero hace un diseño sobrado u opera el dispositivo debajo de su capacidad total. Esto efectivamente reduce el riesgo técnico pero incrementa el riesgo económico al convertirse el diseño en algo muy pesado, muy grande o muy costoso y resulta imposible competir en el mercado.

Los árboles de defectos y el análisis de modo y efectos de falla se utilizan para tratar de explicar la relación entre la falla de un producto y sus causas.
Los métodos no sustituyen la construcción y prueba de prototipos pero son una forma estructurada de entender mejor los eventos que provocan una falla y por tanto permiten poner mayor atención en problemas potenciales de diseño.

Árboles de defectos
Utilizan un método de análisis deductivo de arriba hacia abajo para identificar que defectos en componentes pueden ser responsables de fallas particulares del sistema. El método requiere que el diseñador defina uno o más tipos de falla.

Análisis de Modo y Efectos de Falla.
El método inicia con los componentes o sub-sistemas, se decide cual puede fallar y luego se determinan los efectos en todo el sistema.
Los pasos para iniciar un análisis de modo y efecto de falla FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) son:

- Definir el sistema que se analizará
- Construir un diagrama de bloques funcional para mostrar cómo interactúan los componentes o sub-sistemas.
- Listar los componentes o sub-sistemas e identificar sus modos de falla.
- Completar una hoja de trabajo FMEA, estimando el efecto de cada falla en el desempeño general del sistema.
- Asignar calificaciones de gravedad y evaluar lo crítico de cada modo de falla en el desempeño del sistema.
- Usar la hoja de trabajo para identificar componentes críticos y hacer recomendaciones para mejorar el diseño.

2.3.6 DISEÑO DE DETALLE

Es la parte del proceso de diseño en donde el diseñador cuenta ya con la configuración definitiva y tiene que generar toda la información necesaria para poder producir el producto. En el diseño de detalle se prepara la documentación de producción y operación, se elaboran dibujos de detalle y listas de partes; se completan todas las instrucciones de producción, ensamble, transporte y de operación.
Finalmente se revisa el conjunto completo de documentos y se inicia producción.

Hasta aquí se ha revisado la teoría de una metodología de diseño, en la práctica es recomendable aterrizar esa teoría en puntos de control, formatos y tablas que ayuden al diseñador y a las personas involucradas con el proyecto a seguir un proceso sistematizado.

2.4 METODOLOGÍA PROPUESTA

Se propone la creación de 4 bloques principales como se muestra en la figura 38. Cada bloque se nombra con una letra del abecedario en forma consecutiva, un conjunto de formatos dará seguimiento a cada bloque dentro del proceso de diseño.

A.	CLARIFICACIÓN DE OBJETIVO O TAREA
B.	DISEÑO CONCEPTUAL
C.	DISEÑO CONFIGURATIVO
D.	DISEÑO DE DETALLE

Figura 38. Bloques principales del proceso de diseño.

Cada formato llevara la letra del bloque seguida de un número. El formato (ver Fig. 39) abordará un punto específico del proceso de diseño mostrado en el diagrama de la figura 40.

NOMBRE DEL PUNTO A TRATAR	FECHA: ddmmaa REVISIÓN: aaa-##	**A, B,..D_1,2,...n**
RESULTADO		

Figura 39 Formato de punto de control.

Lo que se pretende es dividir el problema en partes manteniendo siempre un orden durante todo el proceso. Cada parte o punto de control concentra la atención del diseñador en un tema específico y con esto facilita el trabajo.
Un beneficio de dividir en puntos de control es que se puede repartir el trabajo a diferentes personas, cada persona desarrollará uno o varios puntos de control, simplemente llenando los formatos y entregándolos a un encargado de evaluar el avance del bloque.
Una vez revisados todos los formatos de un bloque o si se cuenta con información suficiente, se puede pasar al siguiente bloque hasta terminar todo el proceso de diseño.
Para las iteraciones, cuando se requiere regresar en el proceso, los formatos permiten revisar fácilmente la información de un bloque anterior.
Al final todo el proceso queda documentado, lo que facilita el rastreo de errores y la justificación del diseño.

Con la intención de clarificar la relación que existe entre el proceso de diseño y la metodología propuesta, la figura 40 muestra entre paréntesis el nombre asociado a cada formato. Es posible que los nombres de los formatos no coincidan exactamente con los del diagrama.

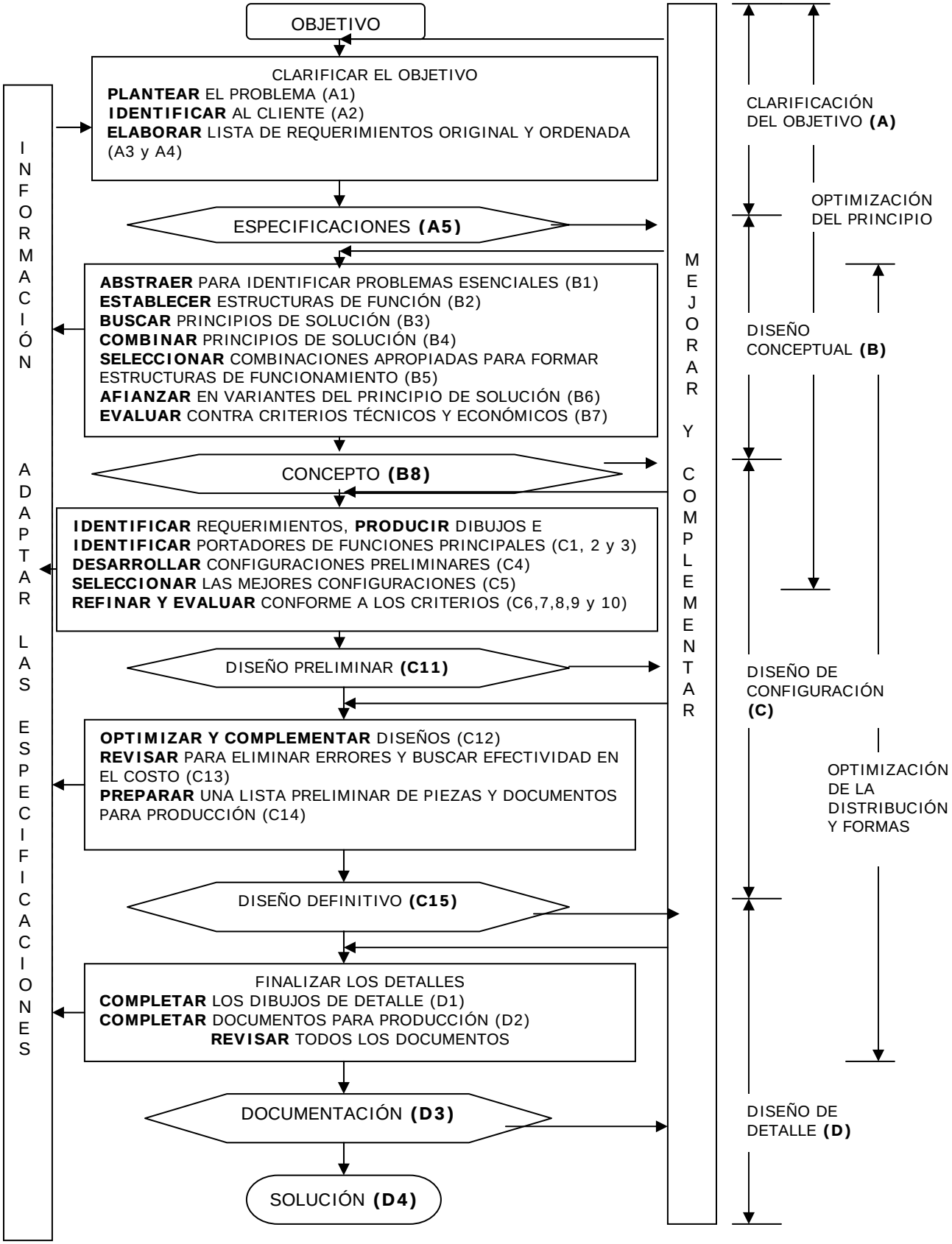


Figura 40. Esquema del proceso de diseño

3 DISEÑO

En este capítulo se aplicará la metodología propuesta en el capítulo 2. La tarea será el diseño de un sistema automatizado de segunda generación para el monitoreo continuo de deformaciones volcánicas.

Se hará uso de los formatos propuestos y se desarrollarán únicamente los puntos necesarios.

El diseñador decidirá cuando pasar al siguiente bloque dependiendo de la cantidad de información recolectada.

El criterio para la evaluación de información de cada bloque es un parámetro que deberá ser definido en investigaciones posteriores del proceso de diseño. Este criterio de evaluación permite saber si una sección ya puede proporcionar suficiente información para declararla satisfecha y poder pasar a la siguiente. Es importante definir correctamente este criterio porque demasiados requisitos podrían entorpecer el proceso y por otro lado puntos de control muy flexibles provocarían un déficit de información.

El sistema se puede dividir en dos grandes ramas de desarrollo: 1. Software de control y análisis de datos, y 2. Hardware. Lo que se esta sometiendo al proceso de diseño es primordialmente hardware.
Es posible usar la mayor parte de los algoritmos desarrollados para la primera versión del sistema siempre y cuando los cambios en configuración permitan la compatibilidad. También será necesario generar nuevo código debido al probable cambio de dispositivos de control durante el rediseño.

Una muestra de los algoritmos de procesado y análisis de datos se presentan al final del proceso de diseño, capítulo 4.

3.1 A-CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y PLANEACIÓN

Planteamiento del problema	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**A1**
Diseño de un sistema de 2a generación para el monitoreo automatizado de deformaciones volcánicas en tiempo real.		

Es necesario conocer al cliente porque es la fuente de información para poder obtener la lista de requerimientos.

Identificación del cliente	Fecha ddmmaa Revisión: aaa-##	**A2**

Cliente interno
El cliente interno es el grupo de investigación responsable del proyecto.

Identificación del Cliente A2 (continuación)

Los integrantes son investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM y además se tiene cooperación con el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres).

Cliente externo
Se pueden establecer como clientes externos las instituciones que apoyan el proyecto financieramente como PAPIIT-DGAPA-UNAM o CONACYT.

Recientemente otras instituciones se muestran interesadas en utilizar o adquirir el sistema, especialmente observatorios volcanológicos de otros países (España, Nicaragua, Ecuador, Chile). Es conveniente incluir requerimientos pertinentes al momento de diseñar, de tal manera que se pueda satisfacer adecuadamente la demanda del sistema.

3.2 A-LISTA DE REQUERIMIENTOS

Se elabora un listado de requerimientos en donde a cada requerimiento se le asigna una importancia, es decir si es condición o deseo; se incluye el nombre de la persona responsable de establecer el requerimiento, la fecha y, por último algunas notas y observaciones si es que existen.
Como se menciona en 2.3.3 una lista de comprobación puede ayudar para la generación de los requerimientos y para la clasificación.

A continuación se presenta lo siguiente:

- La lista de requerimientos original (formato A3)
- La lista ordenada y agrupada (formato A4)

La primera lista de requerimientos no tiene un orden específico, la lista crece a medida que las ideas se generan. Al momento de elaborar la lista cada requerimiento se marca como condición o deseo, se anota el nombre o las iniciales de la fuente o el autor de ese requerimiento y la fecha. Cuando se termina la sesión o se agota la lista entonces se anota una clasificación para iniciar el proceso de agrupamiento.
Los lineamientos para generar la lista de requerimientos se explican en el capitulo 2.

No.	Clasificación	Requerimiento	Importancia (Condición / Deseo)	Observaciones	Fuente	Fecha Cambio	En Especificaciones (SI / NO)	ESTADO (Cancelado, Falta cumplir, Cumple)
1	Operación, Seguridad, Medición	El instrumento de medición debe ubicarse a una distancias > 3 Km. del objetivo	C	Para poder detectar las deformaciones y por seguridad del equipo	eou	24-Mar-03		
2	Comunicación	El sistema debe transmitir los datos a una distancia lineal >= 60 Km	C	Debido a ubicación del centro de monitoreo	eou	24-Mar-03		
3	Medición	La precisión de medición de distancias debe ser mejor o igual a + - 5mm + 3ppm	C		eou	24-Mar-03		
4	Medición	El sistema debe medir múltiples puntos	C		eou	24-Mar-03		
5	Operación	El sistema remoto debe soportar las condiciones ambientales extremas de algunos volcanes	C	Los volcanes en donde se piensa instalar	eou	24-Mar-03		
5	Instalación	El tiempo de instalación del sistema remoto debe ser corto	D	Es difícil y costoso el trabajo en campo	eou	24-Mar-03		
6	Operación	El sistema completo debe ser confiable	C		eou	24-Mar-03		
7	Operación	El tiempo de vida útil del sistema debe ser largo	D		eou	24-Mar-03		
8	Operación	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco tiempo	D		eou	24-Mar-03		
9	Operación	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco esfuerzo	D		eou	24-Mar-03		
10	Costos	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco dinero	D		eou	24-Mar-03		
11	Energía	El sistema remoto debe consumir poca energía	C	Será condición cuando no cuente con suministro	eou	24-Mar-03		

12	Energía	El sistema remoto debe ser capaz de generar su propia energía	D	Será condición cuando no cuente con suministro	eou	24-Mar-03		
13	Costos	El costo del sistema completo debe ser competitivo	D	Principalmente cuando se compara con las nuevas estaciones totales	eou	24-Mar-03		
14	Comunicación	Los datos deben llegar en el menor tiempo posible al centro de monitoreo	C		eou	24-Mar-03		
15	Procesamiento	Los datos se deben analizar en tiempo real	C		eou	24-Mar-03		
16	Procesamiento	Deberá ser proceso automatizado	C		eou	24-Mar-03		
17	Procesamiento	El sistema debe mostrar la deformación en tiempo real	D		eou	24-Mar-03		
18	Operación	El sistema debe poder ser controlado en forma remota	C		eou	24-Mar-03		
19	Operación	El sistema debe funcionar de forma automatizada	C		eou	24-Mar-03		
20	Medición	La velocidad de adquisición de datos debe ser mayor a la velocidad de deformación del volcán	C		eou	24-Mar-03		
21	Costos	El costo de instalación debe ser bajo	D		eou	24-Mar-03		
22	Operación	El despliegue final de información debe ser oportuno	C		eou	24-Mar-03		
23	Instalación	El sistema debe ser portátil	D		eou	24-Mar-03		
24	Medición	El sistema será capaz de encontrar prismas partiendo de una ubicación aproximada	C		eou	24-Mar-03		
25	Seguridad	El sistema remoto debe resistir vandalismo e intento de robo	C		eou	24-Mar-03		
26	Operación	Se debe presentar la deformación en forma clara	C		eou	24-Mar-03		
27	Operación	El proceso de medición podrá ser activado por una alarma	C		eou	24-Mar-03		

28	Medición	El sistema podrá hacer un barrido de todo el flanco visible y localizar los puntos de medición	D		eou	24-Mar-03		
29	Medición	El sistema será capaz de medir ángulos	C		eou	24-Mar-03		
30	Medición	El sistema medirá ángulos con precisión suficiente para que sean datos útiles	D		eou	24-Mar-03		
31	Operación, Seguridad, Medición	El sistema podrá transmitir imágenes en tiempo real	D		eou	28-Jul-05		
32	Medición	El sistema medirá temperatura ambiente	C		eou	28-Jul-05		
33	Medición	El sistema medirá presión atmosférica	D		eou	28-Jul-05		
34	Operación	El sistema monitoreará parámetros internos de energía	D		eou	28-Jul-05		
35	Operación	El sistema será capaz de realizar un autodiagnóstico	D		eou	28-Jul-05		
36	Operación	El sistema será capaz de autocalibrarse en relación al posicionamiento	C		eou	28-Jul-05		
37								
38								

El formato A4 muestra una lista agrupada y ordenada.

Los grupos que se formaron fueron:

1. Comunicación
2. Costos
3. Energía
4. Instalación
5. Medición
6. Operación
7. Procesamiento
8. Seguridad

Nota: En los formatos A3 y A4 las iniciales “eou” se refieren a Errasti Orozco Ulises

No.	Clasificación	Requerimiento	Importancia (Condición / Deseo)	Observaciones	Fuente	Fecha Cambio	En Especificaciones (SI / NO)	ESTADO (Cancelado, Falta cumplir, Cumple)
2	Comunicación	El sistema debe transmitir los datos a una distancia lineal >= 60 Km	C	Debido a ubicación del centro de monitoreo	eou	24-Mar-03	SI	
3	Comunicación	Los datos deben llegar en el menor tiempo posible al centro de monitoreo	C		eou	24-Mar-03	SI	
4	Costos	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco dinero	D		eou	24-Mar-03	SI	
5	Costos	El costo del sistema completo debe ser competitivo	D	Principalmente cuando se compara con las nuevas estaciones totales	eou	24-Mar-03	SI	
21	Costos	El costo de instalación debe ser bajo	D		eou	24-Mar-03	SI	
22	Energía	El sistema remoto debe consumir poca energía	C	Será condición cuando no cuente con suministro	eou	24-Mar-03	SI	
23	Energía	El sistema remoto debe ser capaz de generar su propia energía	D	Será condición cuando no cuente con suministro	eou	24-Mar-03	SI	
5	Instalación	El tiempo de instalación del sistema remoto debe ser corto	D	Es difícil y costoso el trabajo en campo	eou	24-Mar-03	SI	
23	Instalación	El sistema debe ser portátil	D		eou	24-Mar-03	SI	
3	Medición	La precisión de medición de distancias debe ser mejor o igual a + - 5mm + 3ppm	C		eou	24-Mar-03	SI	
4	Medición	El sistema debe medir múltiples puntos	C		eou	24-Mar-03	SI	
20	Medición	La velocidad de adquisición de datos debe ser mayor a la velocidad de deformación del volcán	C		eou	24-Mar-03	SI	
24	Medición	El sistema será capaz de encontrar prismas partiendo de una ubicación aproximada	C		eou	24-Mar-03	SI	
29	Medición	El sistema será capaz de medir ángulos	C		eou	24-Mar-03	SI	
32	Medición	El sistema medirá temperatura ambiente	C		eou	28-Jul-05	SI	

28	Medición	El sistema podrá hacer un barrido de todo el flanco visible y localizar los puntos de medición	D		eou	24-Mar-03	SI	
30	Medición	El sistema medirá ángulos con precisión suficiente para que sean datos útiles	D		eou	24-Mar-03	SI	
33	Medición	El sistema medirá presión atmosférica	D		eou	28-Jul-05	no	
5	Operación	El sistema remoto debe soportar las condiciones ambientales extremas de algunos volcanes	C	Los volcanes en donde se piensa instalar	eou	24-Mar-03	si	
6	Operación	El sistema completo debe ser confiable	C		eou	24-Mar-03		
18	Operación	El sistema debe poder ser controlado en forma remota	C		eou	24-Mar-03		
19	Operación	El sistema debe funcionar de forma automatizada	C		eou	24-Mar-03		
22	Operación	El despliegue final de información debe ser oportuno	C		eou	24-Mar-03		
26	Operación	Se debe presentar la deformación en forma clara	C		eou	24-Mar-03		
27	Operación	El proceso de medición podrá ser activado por una alarma	C		eou	24-Mar-03		
36	Operación	El sistema será capaz de autocalibrarse en relación al posicionamiento	C		eou	28-Jul-05		
7	Operación	El tiempo de vida útil del sistema debe ser largo	D		eou	24-Mar-03		
8	Operación	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco tiempo	D		eou	24-Mar-03		
9	Operación	La reparación y el mantenimiento del sistema debe requerir poco esfuerzo	D		eou	24-Mar-03		
34	Operación	El sistema monitoreará parámetros internos de energía	D		eou	28-Jul-05		
35	Operación	El sistema será capaz de realizar un autodiagnóstico	D		eou	28-Jul-05		
1	Operación, Seguridad, Medición	El instrumento de medición debe ubicarse a una distancias > 3 Km. del objetivo	C	Para poder detectar las deformaciones y por seguridad del equipo	eou	24-Mar-03		

31	Operación, Seguridad, Medición	El sistema podrá transmitir imágenes en tiempo real	D		eou	28-Jul-05		
15	Procesamiento	Los datos se deben analizar en tiempo real	C		eou	24-Mar-03		
16	Procesamiento	Deberá ser proceso automatizado	C		eou	24-Mar-03		
17	Procesamiento	El sistema debe mostrar la deformación en tiempo real	D		eou	24-Mar-03		
25	Seguridad	El sistema remoto debe resistir vandalismo e intento de robo	C		eou	24-Mar-03		

3.3 A-TABLA DE ESPECIFICACIONES

De la lista de requerimientos se extraen las especificaciones, los lineamientos para crear la tabla de especificaciones se explican en el capítulo 2.

A continuación se presenta lo siguiente:

- Tabla de especificaciones (formato A5)

No.	Clasificación	Referencia Requerimiento	ESPECIFICACIÓN	Valor Nominal	Tolerancia	Unidades	Nota	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	Fecha Cambio	ESTADO (CANCELADO, FALTA CUMPLIR o CUMPLE)
1	Comunicación	2	Rango transmisión	60	o mayor	km					
2	Comunicación	3	Velocidad de transmisión	38400	o mayor	bps					
3	Costos	4	Costo de mantenimiento anual	minimo	o menor	$usd					
4	Costos	5	Costo del sistema completo	20000	o menor	$usd					
5	Costos	21	Costo de instalación sistema completo	minimo	o menor	$usd					
6	Energía	22	Consumo de energía promedio			W					
7	Energía	23	Independencia energética	12		horas					
8	Instalación	5	Tiempo de instalación	3	o menor	horas					
9	Instalación	23	Personas requeridas para instalación	2	o menor	personas					
10	Instalación	23	Personas requeridas para transportación	2		personas					
11	Medición	3	Precisión medición de distancia	(+ -) 5mm + 3 ppm	(+) 10%	mm	Desviación Estándar		Especificaciones Leica DI3000S		
12	Medición	4	Cantidad de puntos de medición	sin restricción		puntos	puntos formados por uno o varios prismas				
13	Medición	20	Velocidad de medición			muestras / segundo	adquiridas por el sistema				
14	Medición	20	Tiempo de adquisición	6	(+ -) 10%	segundos / muestra	desplegadas en centro de monitoreo				
15	Medición	24	Tamaño mínimo ventana de rastreo		mínimo	m2	necesario para encontrar el prisma				
16	Medición	28	Tamaño máximo ventana de rastreo		máximo	m2	en modo de rastreo de flanco				

No.	Clasificación	Referencia Requerimiento	ESPECIFICACIÓN	Valor Nominal	Tolerancia	Unidades	Nota	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	Fecha Cambio	ESTADO (CANCELADO, FALTA CUMPLIR o CUMPLE)
17	Medición	24	Geometría proyectada del área de rastreo								
18	Medición	29, 30	Precisión, repetibilidad angular								
19	Medición	29, 30	Resolución angular								
20	Medición	29, 30	Exactitud angular								
21	Medición	32	Sensores de temperatura	1		sensor					
22	Medición	32	Tipo de sensor								
23	Medición	32	Precisión, repetibilidad temperatura								
24	Medición	32	Resolución temperatura								
25	Medición	32	Exactitud temperatura								
26	Medición	28	Capacidad de rastreo de flanco								
27	Medición		Velocidad de rastreo		máxima	° / s					
28	Medición	28	Velocidad de rastreo de flanco		máxima	° / s					
29	Medición		Aceleración de rastreo		máxima	° / s2					
30	Medición	28	Aceleración de rastreo de flanco		máxima	° / s2					
31	Operación	5	Temperatura mínima de operación		mínimo	°C					
32	Operación	5	Temperatura máxima de operación		máximo	°C					
33	Operación	5	Nivel de protección contra intemperie			NEMA					
34	Operación	18	Control remoto	si							
35	Operación	19	Modo funcionamiento automatizado	si							
36	Operación	22	Tiempo de despliegue de datos numéricos			s					
37	Operación	23	Tiempo de despliegue de graficos			s					
38	Operación	26	Despliegue datos numéricos	si							
39	Operación	26	Despliegue de gráficas	si							
40	Operación	27	Activación por alarma externa	si							
41	Operación	27	Retraso por alarma			s	Tiempo entre alarma recibida y primera medición				
42	Operación	36	Autocalibración de cero	si							

No.	Clasificación	Referencia Requerimiento	ESPECIFICACIÓN	Valor Nominal	Tolerancia	Unidades	Nota	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	Fecha Cambio	ESTADO (CANCELADO, FALTA CUMPLIR o CUMPLE)
43	Operación	36	Autocalibración de posición de puntos	si							
44	Operación	7	Vida útil del sistema			días					
45	Operación	8	Intervalos de mantenimiento preventivo			días					
46	Operación	8	Tiempo para mantenimiento			horas	Tiempo necesario para dar mantenimiento				
47	Operación	9	Personas necesarias para mantenimiento			personas					
48	Operación	34	Monitoreo de voltaje de alimentación	si							
49	Operación	34	Monitoreo de voltaje de baterias respaldo	si							
50	Operación	34	Montoreo de corriente y consumo energético	si							
51	Operación	34	Monitoreo de temperatura interna	si							
52	Operación	35	Capacidad de autodiagnóstico	si							
53	Operación	1	Requerimiento mínimo para instalación	una base estable							
54	Operación	31	Capacidad de transmisión de imágenes								
55	Operación		Peso máximo de carga			kg	Carga debida a instrumentos instalados				
56	Procesamiento	15	Tiempo de análisis de datos			s	Tiempo transcurrido entre la adquisición y el despliegue gráfico				

No.	Clasificación	Referencia Requerimiento	ESPECIFICACIÓN	Valor Nominal	Tolerancia	Unidades	Nota	Importancia (Condición / Deseo)	Fuente	Fecha Cambio	ESTADO (CANCELADO, FALTA CUMPLIR o CUMPLE)
57	Procesamiento	16	Capacidad de operación en forma automatizada	si							
58	Seguridad	25	Protección contra robo sin herramientas especiales	si							
59	Seguridad	25	Protección contra daños por fragmentos	si			Objetos arrojados por una persona				

3.4 B-DISEÑO CONCEPTUAL

Debido a que el proyecto es un rediseño en esta etapa se realiza una revisión de lo que ya se tiene, es decir, es muy probable que el concepto no sufra cambios. Si el resultado de esta etapa es un mejor concepto se reflejará en el resto del proceso hasta llegar a un mejor diseño de segunda generación. Los detalles de la metodología se explican en el capítulo 2, en la sección 2.3.4.

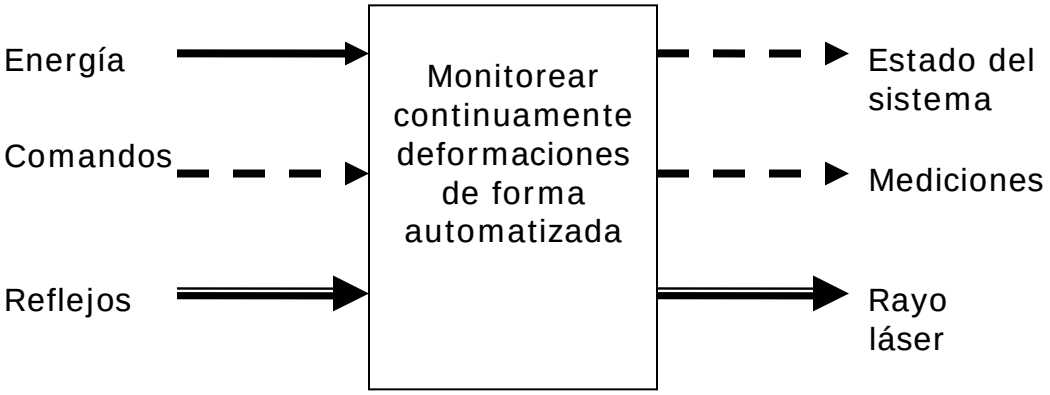
Abstracción para identificar problemas esenciales	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B1**

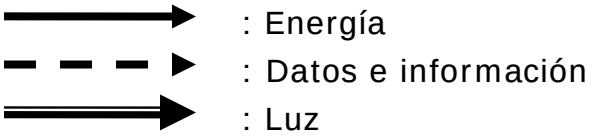
Paso	**Descripción**	**Resultados**
1	Eliminar preferencias personales	• Rango de transmisión de 60 km o mayor • Velocidad de transmisión 38400 bps o mayor • Costos bajos de mantenimiento, del sistema y de instalación • Consumo bajo de energía • Independencia energética de 12 horas • Tiempo de instalación de 3 horas o menos • Personas requeridas para transportación e instalación 2 o menos • Precisión de medición de distancias 5mm + 3 ppm o mejor • Capacidad de medir varios puntos sin restricción de número de puntos • Velocidad de medición (muestras / s) suficiente para captar eventos de periodo corto • Tamaño de ventana de rastreo suficiente para encontrar prisma • Buena precisión y repetibilidad en movimientos • Buena precisión en medición de ángulos • Sensores de temperatura y humedad • Velocidad de rastreo alta para encontrar prismas rápidamente • Rangos de operación de componentes que soporten condiciones del lugar de instalación • Funcionamiento automatizado • Facilidad de operación y mantenimiento
2	Omitir	• Rango de transmisión de 60 km o mayor

	requerimientos que no influyan directamente en la función y en las restricciones esenciales	• Consumo bajo de energía • Precisión de medición de distancias 5mm + 3 ppm o mejor • Capacidad de medir varios puntos sin restricción de número de puntos • Velocidad de medición (muestras / s) suficiente para captar eventos de periodo corto • Tamaño de ventana de rastreo suficiente para encontrar prisma • Buena precisión y repetibilidad en movimientos • Buena precisión en medición de ángulos • Velocidad de rastreo alta para encontrar prismas rápidamente • Rangos de operación de componentes que soporten condiciones del lugar de instalación • Funcionamiento automatizado • Facilidad de operación y mantenimiento
3	Transformar datos cuantitativos en cualitativos y reducirlos a declaraciones esenciales	• Comunicaciones bidireccionales con centro de monitoreo • Energía bajo • Precisión para detectar deformaciones • Medir varios puntos • Captar diferentes tipos de eventos • Medición continua • Encontrar prismas • Soportar condiciones adversas • Automatizado
4	Generalizar los resultados del paso anterior	• Monitoreo en campo • Automatizado • Medición de varios tipos de deformación • Diferentes puntos • Continuo •
5	Formular el problema en términos de una solución neutra.	• Monitorear continuamente deformaciones de forma automatizada

Establecer estructuras de función. Función general – sub-funciones	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B2**

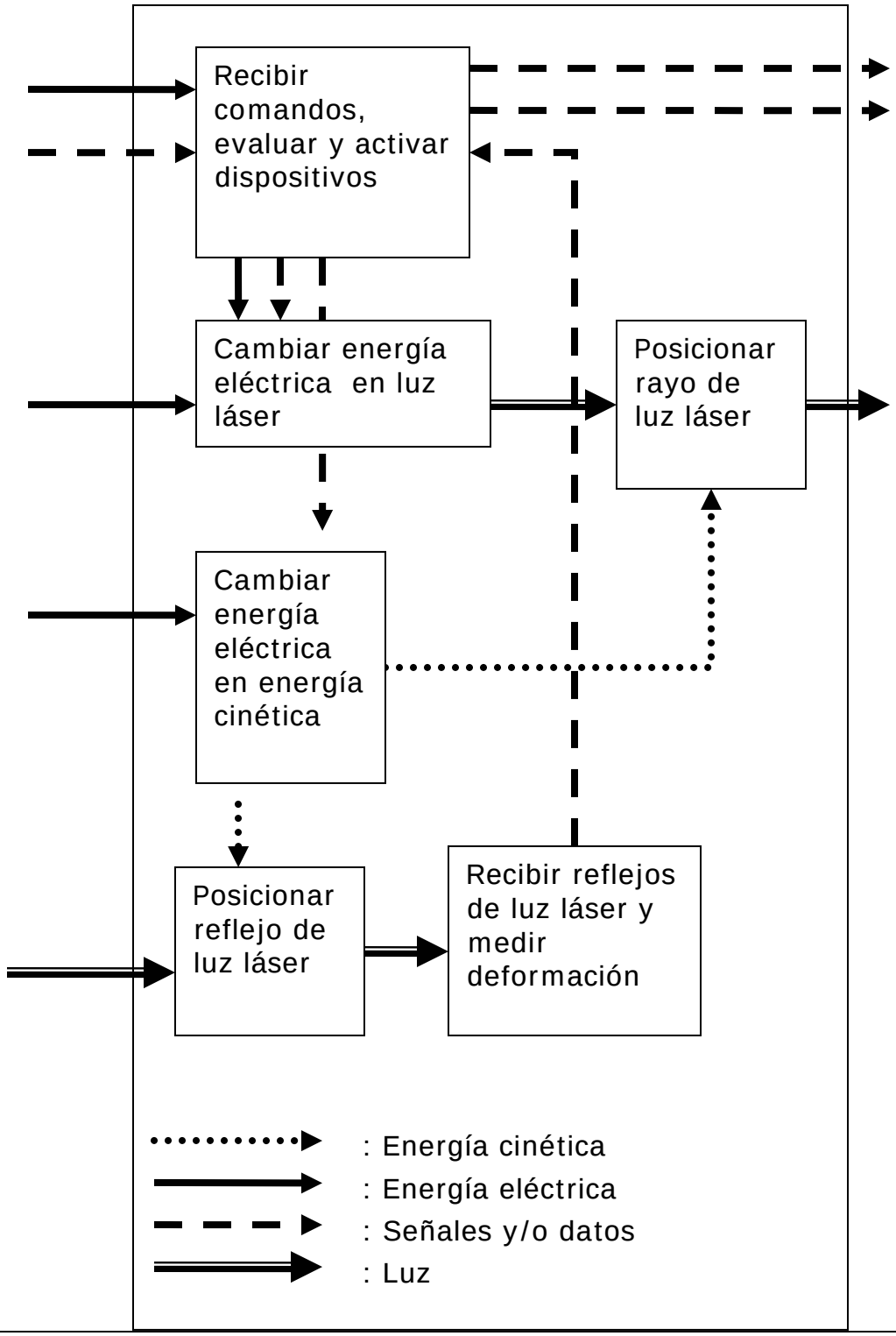
Función general





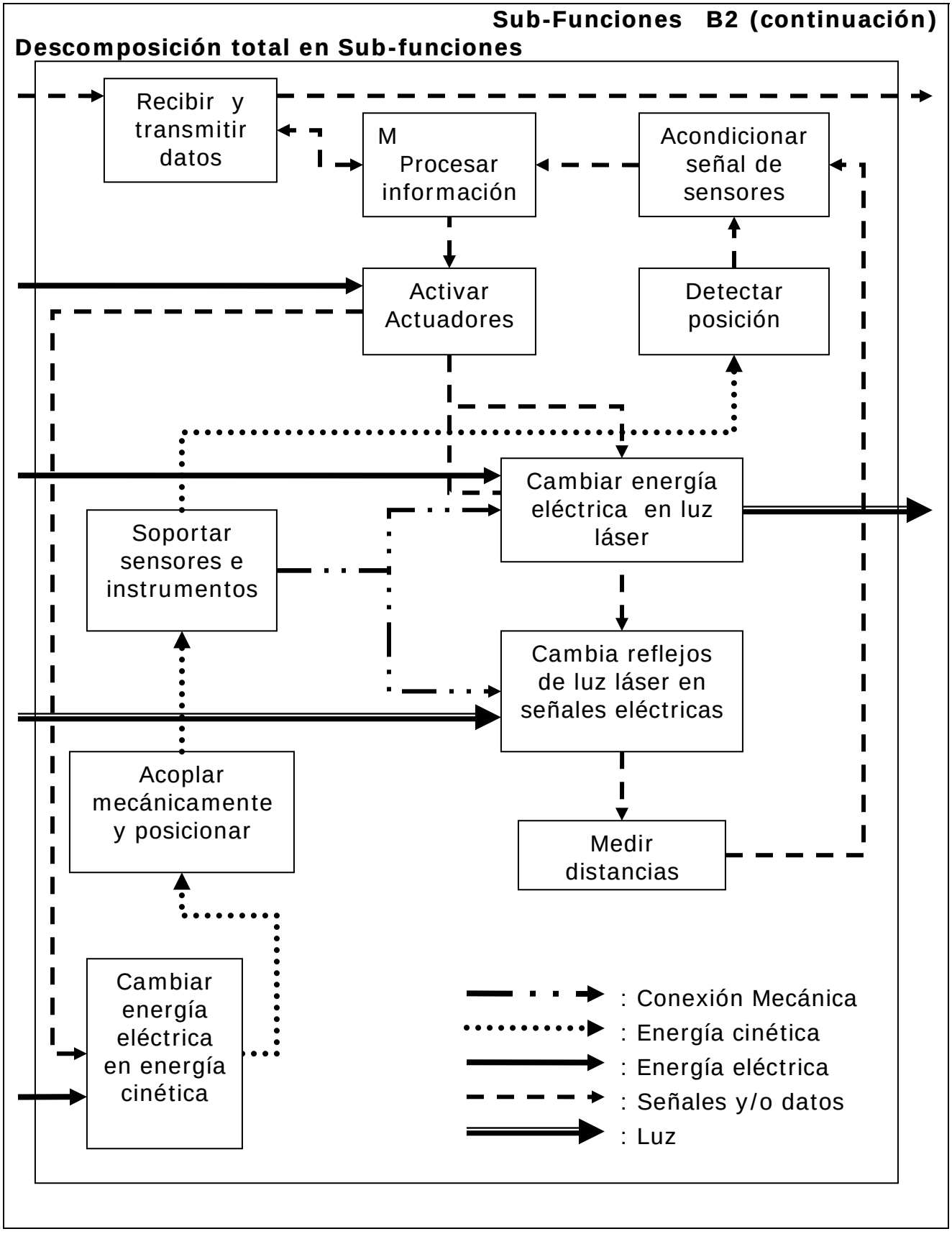
Sub-Funciones B2 (continuación)

Etapa intermedia entre la función general y la descomposición total en sub-funciones



Sub-Funciones B2 (continuación)

Descomposición total en Sub-funciones



Búsqueda de principios de funcionamiento para satisfacer las sub-funciones	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B3**

Sub-función		Principios de funcionamiento			
		1	**2**	**3**	**4**
A	Recibir y transmitir datos	*PC*	*PDA (Palm, Pocket PC)*	*PLC*	*Micro-controlador*
B	Procesar Información	*PC*	*PDA*	*PLC*	*Micro-controlador*
C	Acondicionar señal de sensores	*Tarjeta para PC adquisición de datos (Señal – Datos)*	*Tarjeta para PDA adquisición de datos (Señal – Datos)*	*Tarjeta A/D (Señal analógica – Señal digital)*	*Tarjeta Acoplamiento (Señal analógica – Señal analógica)*
D	Activar Actuadores	*Tarjeta interna control PC - Salidas*	*Módulo de control externo PC - Salidas*	*Modulo de control (Datos – Salidas)*	*Tarjeta fase de potencia (Señal – Salidas)*
E	Cambiar energía eléctrica en luz láser	*Diodo láser*	*Láser de gas*		
F	Cambiar energía eléctrica en energía cinética	*Motor eléctrico rotacional*	*Motor eléctrico lineal*		
G	Acoplar mecánicamente y posicionar	*Tren de engranes*	*Directo*	*Varillas, palancas y levas*	
H	Soportar instrumentos y sensores	*Montaje coaxial*	*Montaje lateral*	*Montaje separado*	
I	Detectar posición	*Encoder óptico*	*Encoder eléctrico / magnético*	*Dispositivo con autocolimador y blanco*	*Nivel*
J	Cambiar reflejos de luz láser en señales eléctricas	*Sensor independiente*	*Sensor incluido en módulo EDM*		
K	Medir	*Tarjeta de*	*Módulo EDM*		

A continuación se muestran las combinaciones de principios de funcionamiento con el propósito de formar estructuras de funcionamiento que nos lleven al principio de solución. En el presente documento únicamente se muestran algunas combinaciones pero resulta muy interesante revisar todas las posibilidades.

Combinar principios de funcionamiento para formar estructuras de funcionamiento	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B4**

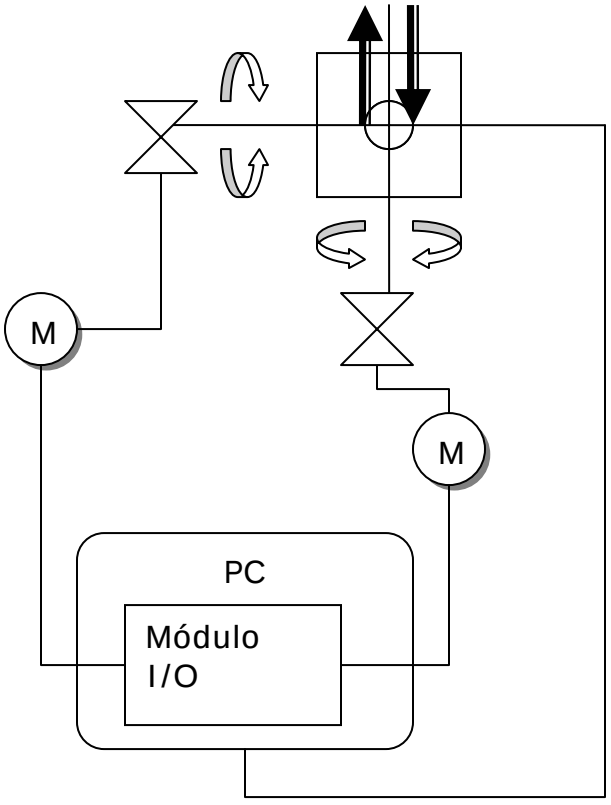
Combinación

	1	***2***	***3***	***4***	***5***
A	*O*				
B	*O*				
C	*O*				
D	*O*				
E	*O*				
F	*O*				
G			*O*		
H	*O*				
I	*O*				
J	*O*				
K	*O*				

Estructura de funcionamiento

I

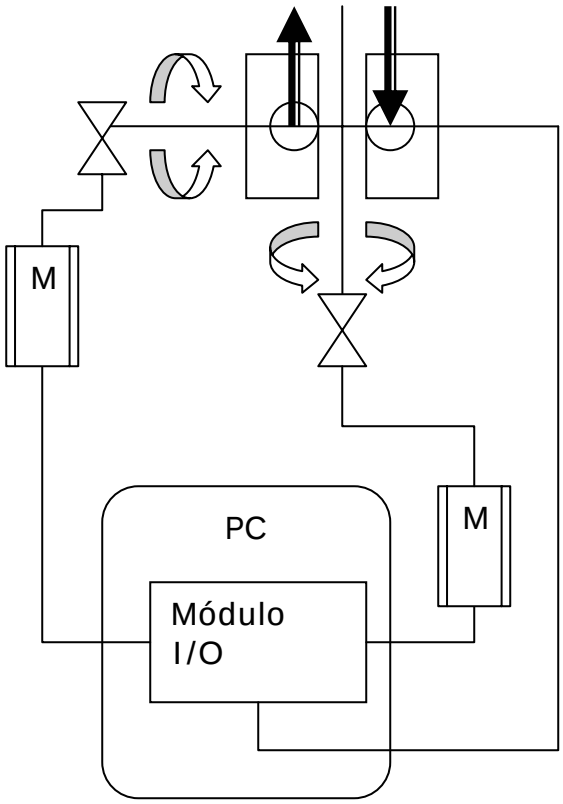
Emisor y sensor láser independientes montados coaxialmente en una plataforma con varillas y levas acopladas a motores que provocan el movimiento, todo controlado por una PC



	1	2	3	4	5
A	O				
B	O				
C	O				
D	O				
E	O				
F		O			
G			O		
H		O			
I				O	
J	O				
K	O				

II

Emisor y sensor láser independientes montados uno al lado del otro sobre una plataforma con actuadores lineales controlados por PC

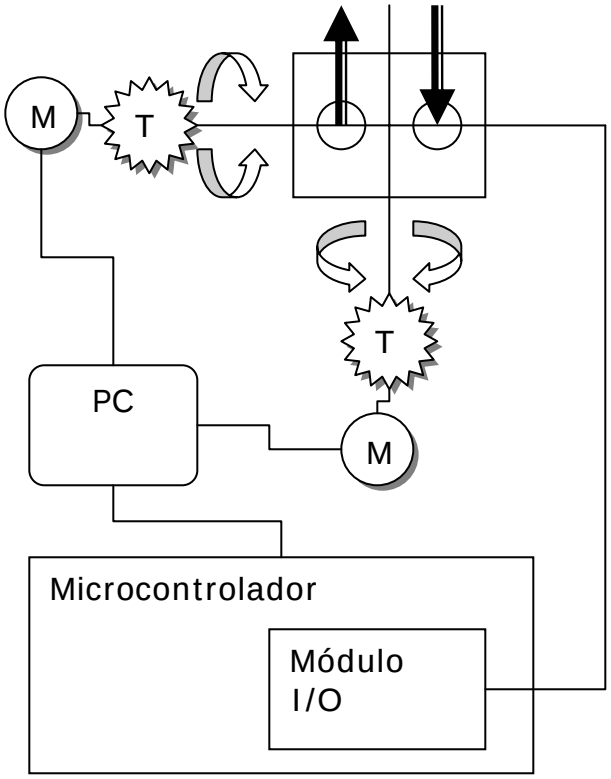


	1	2	3	4	5
A	O				O
B	O				O
C					O
D					O
E	O				
F	O				
G	O				
H		O			
I	O				
J		O			
K		O			

III

Emisor y sensor en un solo módulo colocados uno al lado del otro sobre una plataforma con movimiento azimutal y de elevación actuados por motores rotacionales controlados por pc, con tren de engranes.

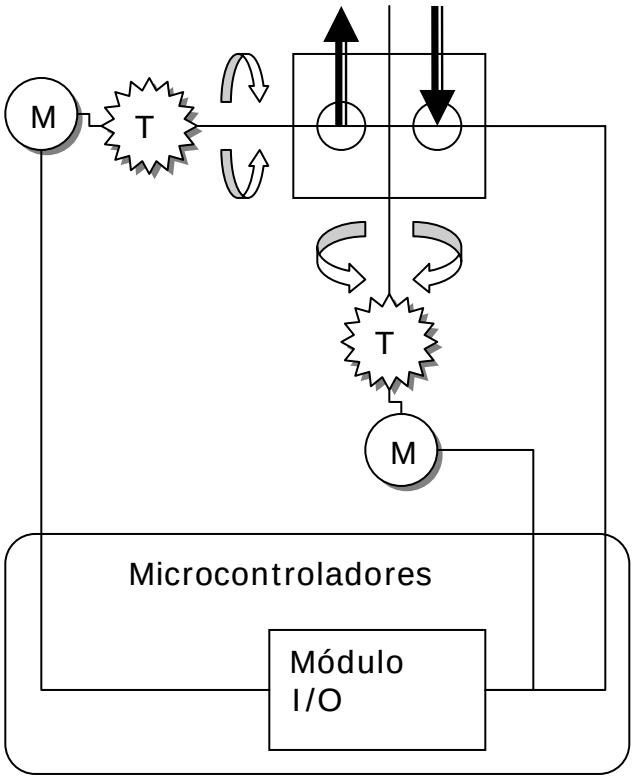
Microcontrolador como respaldo, receptor de señales y control de actuadores.



	1	***2***	***3***	***4***	***5***
A					*O*
B					*O*
C					*O*
D					*O*
E	*O*				
F	*O*				
G	*O*				
H		*O*			
I	*O*				
J		*O*			
K		*O*			

IV

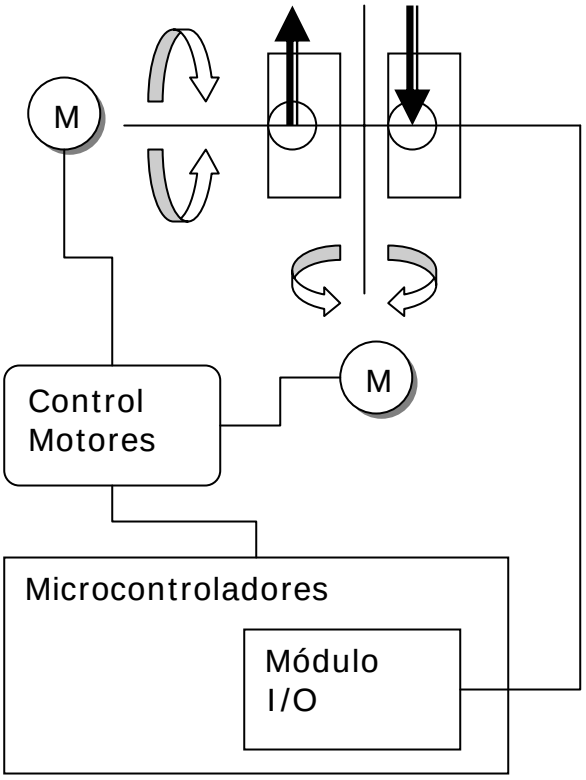
Emisor y sensor en un solo módulo EDM colocados uno al lado del otro sobre plataforma con movimientos azimutal y de elevación actuados por motores rotacionales controlados únicamente por microcontroladores y encoders ópticos cómo sensores de posición. Incluye un tren de engranes cómo acoplamiento entre motor y carga.



	1	2	3	4	5
A					O
B					O
C					O
D			O		O
E	O				
F	O				
G		O			
H		O			
I		O			
J	O				
K	O				

V

Comunicaciones y control por medio de microcontroladores, módulo de control de motores independiente, diodo láser y sensor independientes montados uno al lado del otro. Motores eléctricos rotacionales con acoplamiento directo (sin engranes) con encoders electromagnéticos.



…	…
Todas las combinaciones	

Selección de las combinaciones apropiadas	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B5**

Se seleccionan las combinaciones III, IV, y V. Las razones fueron:

- Falta de experiencia en actuadores o motores lineales.
- Los acoplamientos lineales parecen demasiado complejos para fabricar y mantener operando con precisión.
- Las estructuras III y IV utilizan un módulo EDM con el que ya se cuenta y por tanto la implementación sería inmediata
- Las estructuras III y IV son las que se parecen a la configuración del

primer sistema, que ya esta probado.

- La estructura V llevaría la mayor cantidad de cambios pero probablemente también los mayores beneficios. Esto es debido a que utiliza motores rotacionales acoplados directamente a la carga, es decir no utiliza engranes lo que evita el backlash o juego entre dientes y reduce el número de piezas. Además esta configuración utiliza un emisor y un sensor independientes, que probablemente reducirían el peso de los dispositivos en movimiento, lo que reduce el torque y el tamaño de los motores.
- En todas las estructuras de funcionamiento seleccionadas se incluyen uno o varios microcontroladores, esto es porque ofrecen un mayor grado de confiabilidad y bajo costo.

Afianzar las estructuras de funcionamiento seleccionadas para convertirlas en variantes del principio de solución	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**B6**

Las estructuras de funcionamiento seleccionadas todavía no son lo suficientemente concretas como para ser un diseño conceptual definitivo, esto es porque únicamente satisfacen la función en el aspecto técnico, falta obtener mayor información y evaluar contra restricciones generales, considerar los requerimientos económicos y los de seguridad.

A continuación se revisan las estructuras de funcionamiento seleccionadas (variantes) con respecto a restricciones generales.

Restricciones generales:	**Notas**
Seguridad:	La PC puede ser un punto de falla pero reduce el tiempo de desarrollo. Utilizar los microcontroladores como respaldo podría ayudar a hacer el sistema más confiable sin la necesidad de esperar demasiado para tener un sistema totalmente basado en estos. (ver factores para mantenimiento)
Ergonomía:	La PC facilita la interacción y actualización del equipo. Los motores rotacionales y el acoplamiento con engranes permite ajustes rápidos en campo
Producción:	Los motores y acoplamientos rotacionales, la PC y los micro-controladores son fáciles de conseguir. Necesario considerar sistema modular.
Control de	Seleccionando componentes de buena calidad, de

calidad:	preferencia calibrados y certificados se puede garantizar la calidad total
Ensamble:	Piezas simples facilitan la manufactura. El bajo número de piezas simplifica el ensamble.
Transporte:	Se debe considerar reducir el tamaño del sistema completo al mínimo.
Operación:	Necesario mantener autonomía de operación y facilidad de configuración.
Mantenimiento:	Factores a considerar para la selección de componentes: El tipo de motores (con o sin escobillas), acoplamiento directo o con tren de engranes, electrónica encapsulada y el nivel de protección de gabinetes, calibración de dispositivos de electrónica.
Reciclado:	No se considera aunque los materiales utilizados no son peligrosos y la mayoría son reciclables.
Gastos:	Los motores con acoplamiento directo (direct drive) ofrecen atractivos beneficios técnicos pero el costo es elevado. Necesario mantener competitivo el sistema.

En el anexo 3 se presentan algunos cálculos crudos que nos arrojan datos de requerimientos de precisión importantes para la selección de motores y acoplamientos mecánicos.

Se requiere mayor investigación sobre los trenes de engranes y las diferentes configuraciones de estos. La topología recomendada es el engrane – husillo debido a sus propiedades de no reversibilidad, alta relación entrada – salida y tamaño reducido.

No se requiere la construcción de modelos y experimentos adicionales debido a que ya se cuenta con el primer prototipo funcional.

Se cuenta con las siguientes variantes

Variante de solución 1	Estructura de funcionamiento III
Variante de solución 2	Estructura de funcionamiento IV
Variante de solución 3	Estructura de funcionamiento V

Evaluar variantes contra criterios técnicos y económicos	Fecha ddmmaa Revisión: aaa-##	**B7**

Un factor a considerar es el tiempo de desarrollo y la cantidad de información que se puede acumular con un prototipo funcionando. Es importante contar con un prototipo mejorado en operación lo antes posible.

Además de lo anterior se consideran las siguientes razones:

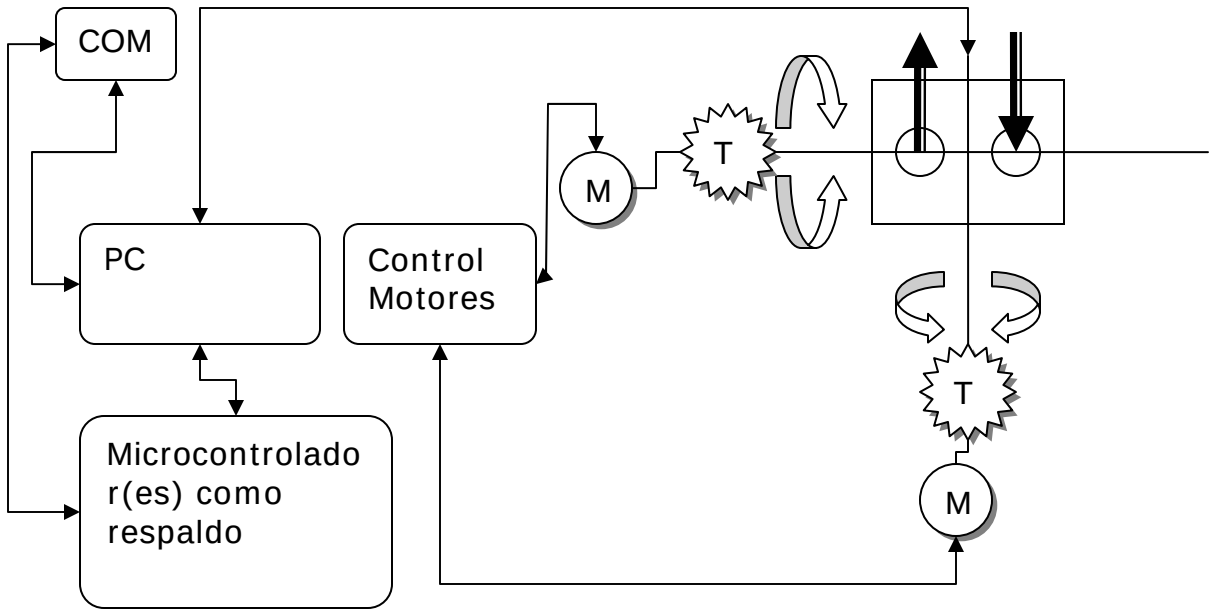
a. El uso de PC agiliza el desarrollo del software de control.
b. El uso de microcontroladores cómo respaldo compensan la falta de confiabilidad de la PC
c. Los microcontroladores usados como respaldo no requieren de un código tan complejo como el necesario para controlar todo el sistema si usar PC.
d. Los motores rotacionales y los trenes de engranes se pueden conseguir comercialmente con precisiones aceptables entren dentro de especificaciones.
e. Ya se cuenta con un EDM.

Se selecciona la **variante 1** para ser desarrollada cómo **Temohuani II.**

La variante 2 requiere mas tiempo de desarrollo debido a que se deja el control del sistema completo al o a los microcontroladores. Se recomienda usar la **variante 2** para el **Temohuani III.**

La **variante 3** es la más ambiciosa y requiere del desarrollo de un EDM del uso de motores acoplados directamente a la carga (direct drive) y del uso de microcontroladores en su totalidad. Se recomienda usar para sistemas posteriores pero seguir trabajando en esa dirección.

Finalmente se llega a:

Principio de Solución o Concepto	Fecha ddmmaa Revisión: aaa-##	**B8**
Variante 1. 		

3.5 C-DISEÑO CONFIGURATIVO

A continuación se muestra la etapa de diseño de configuración:

Identificar requerimientos determinantes para la configuración	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C1**
• Geometría y cinemática • Precisión movimiento • Capacidad de carga • Tipo de control • Requerimientos energéticos (ver Anexo 2)		

Producir dibujos a escala de restricciones espaciales	Fecha ddmmaa	**C2**
Ver anexo 3		

Identificar portadores de funciones principales determinantes para la configuración	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C3**
Las tablas de selección mostradas a continuación se utilizaron para determinar el sistema de movimiento. En el Anexo 1 se muestran las versiones preliminares.		

Sistema de Movimiento	Modelo Actual	Alternativas							
	Temohuani I	1	2	3	4	5	6	7	Unidades
Configuración	Motor pasos - Mesa rotatoria - Encoder	Servomotor (Brushless + Encoder)	Servomotor DDR	Mesa rotatoria DDR	Servomotor (Motor DC + Encoder) - Mesa Rotatoria	Mesa Rotatoria DDR	Servomotor DDR	Servomotor (Motor DC + Encoder) - Mesa Rotatoria	
Modelo	Temohuani I	SM2340	D061	DRT-100		R100D	DR-1008B-115		
Proveedor	Microkinetics Corp.	Burns Controls	Industrial Magza	Industrial Magza	Edmund Industrial Optics		Parker	NewPort	
Fabricante	Sherline/Microkinetics	Smart motor	Kollmorgen	IDC	National Aperture Inc	Bayside	Parker	NewPort	
Costo	$2,300	$6,700	$14,000	$19,000	6545 / 5633 (Naimotion)		$8,096	$8,500	USD
Motor	Pasos 1.8 °	DC Servomotor Brushless	AC Servomotor Brushless DDR	AC Servomotor Brushless DDR	DC Servomotor con escobillas	AC Servomotor Brushless DDR	AC Servomotor Brushless DDR	DC Servomotor	
Retroalimentación	Encoder óptico	Encoder	Encoder senoidal	Encoder senoidal	Resolver		Resolver	Encoder óptico	
Controlador	Tarjetas PCI	Integrado en servomotor	Módulo	Módulo	Modulo Independiente		Módulo	Módulo independiente	
Capacidad autónoma	no	si		si			no	si	
Entradas analíogicas	no	4							
Entradas digitales	8	si							
Salidas analíogicas	no								
Salidas digitales	2	1- 8bit							
Resolución				0.001(4)	0.0045(16.2)			0.001(3.6)	°(arcs)
Mínimo Incremento en Movimiento	0.0125(45)							0.003(10.8)	°(arcs)
Repetibilidad unidireccional								0.006(21.6)	°(arcs)
Valor Reversible (Hysteresis)								0.015(54)	°(arcs)
Repetibilidad desde el Origen								0.002(7.2)	°(arcs)
Repetibilidad + -	0.025(90)		0.00172(0.6)	0.001(4)	0.0083(30)		0.00139(5)		°(arcs)
Precisión (360°) + -	0.045(162)		0.0072(26)	0.005(18)	0.033(120)		0.0125(45)		°(arcs)
Precisión absoluta								0.05(180)	°(arcs)
Norma utilizada	ninguna	sindatos						ISO -230, ASME B5.57	
Cuentas por revolución	8000	256000	2098152	sin dato	79465	472000	507904		cpr
Backlash	parcialmente compensado por software	cero	cero	cero	cercano a 0 (precarga)	cero	cero	cercano a 0 (precarga)	
Limites							si	2	
Home	si						si	si	
Capacidad de Carga Dinámica o Estática	10	3			4.5			25.5(250)	kg(N)
Capacidad maxima carga axial	30		2040	40					
Torque pico	4.5	0.88	16.9	2.5		1.96	8		N*m
Torque constante	2.2	0.38	5.3	0.77		0.65			N*m
Velocidad Maxima	2.5	88.5	6.7	10	0.2	11.6	2	2.5	rps
Alimentación	12V DC	24 V DC	127V AC				115V AC		V
Corriente	2.5	8		6					A
Peso Aprox del par de actuadores	8	6	19	5	1	4.4	12	4	kg
Consumo máximo (motores + encoders)	120	380			5		1.4KVA	12	W
Imagen									

Tabla Selección de sistema de movimiento versión 1

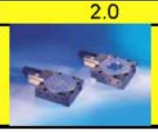
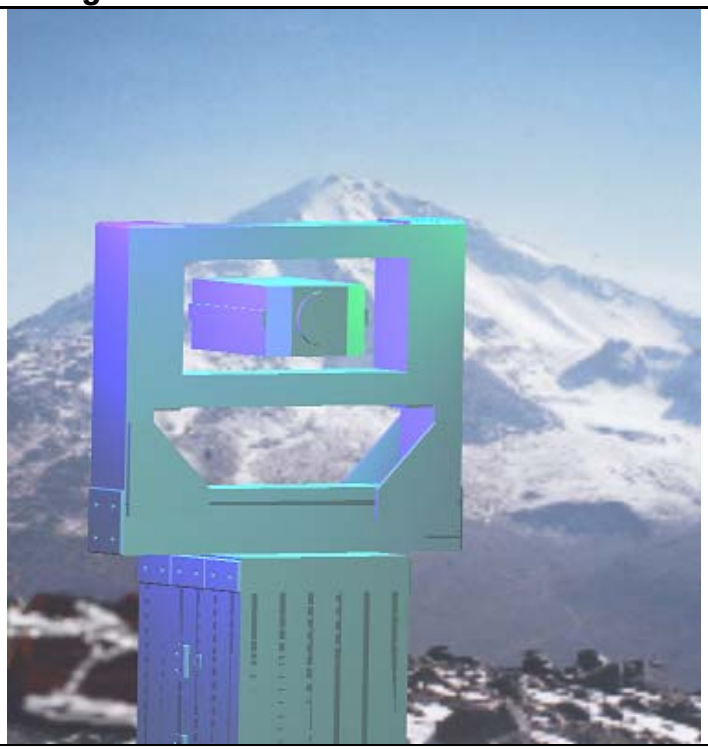
Sistema de movimiento		REQUERIMIENTOS	ALTERNATIVAS				UNIDADES
			4	3	2	1 (Selección)	
Datos Generales	Proveedor		Industrial Magza	Industrial Magza	Tecnolaser	SATEL S.A.	
	Fabricante		IDC	Kollmorgen	Edmund Industrial Optics	NewPort	
	Modelo Actuador		**DRT-100**	**D061M20-1310**	**NT55-327**	**M-495ACC**	
	Modelo Controlador		ServoStar CD	ServoStar CD	F56-193 + F56-194	ESP300-11NNN1	
	Costo $ US Sin IVA	**<= $ 7000**	**$19,176**	**$11,852**	**$10,472**	**$6,340**	**USD**
	Tipo de Precio	FOB	LAB	LAB	LAB	FOB	
	Configuración mecánica	DDR / Motor + Tornillo Sinfin + Engrane	Mesa rotatoria DDR	Servomotor DDR	Servomotor (MotorDC + Encoder) + Tornillo Sinfín + Engrane	Servomotor (Motor DC + Encoder) + Tornillo Sinfín + Engrane	
	Motor	A pasos o Servomotor	Servomotor AC sin escobillas DDR	Servomotor AC sin escobillas DDR	DC Servomotor con escobillas	DC Servomotor	
	Retroalimentación	Encoder o Resolver	Encoder senoidal	Encoder senoidal	Resolver	Encoder óptico	
Controlador	Interface de comunicación	RS232/ USB	RS232 / RS485	RS232 / RS485	RS232 / RS485	RS232	
	Memoria de programa		no	no	si	64kB	
	Medio de programación	Comandos / DLL / Software dedicado	Software dedicado	Software dedicado	Comandos ASCII / Software dedicado	Comandos, DLL's, LabView.	
	Funcionamiento autónomo	Deseable	no	no	si	si	
	Potencia disponible		1500	1500	sin dato	150	W
	Entradas/Salidas Analógicas	Deseable	1	1	sin dato	no	
	Entradas/Salidas Digitales	>= 4	4	4	sin dato	16 configurables	
Actuador	***Resolución***	***<= 0.00625 (22.5)***	***0.0011 (4.0)***	***0.0002 (0.6)***	***0.0045 (16.2)***	***0.003 (10.8)***	***° (")***
	Repetibilidad + -	***<= 0.00625 (22.5)***	***0.0011 (4.0)***	***0.0002 (0.6)***	***0.0083 (30.0)***	***0.006 (21.6)***	***° (")***
	Precisión (360°) + -	<= 0.0500 (180.0)	0.0050 (18.0)	0.0072 (26.0)	0.0330 (120.0)	0.0500 (180.0)	° (")
	Norma utilizada	Deseable	sin dato	sin dato	sin dato	ISO -230, ASME B5.57	
	Backlash	Cero o compensable	CERO	CERO	cercano a CERO (precarga)	cercano a CERO (precarga)	°
	Limites de posición	si	si	si	si	Si (ópticos + - 170°)	
	Límite Posición Origen	si	si	si	si	si (óptico)	
	Capacidad de Carga Dinámica	>= PesoActuador + 2.5	30	200	3	25.5	kg
	Velocidad Maxima	>= 0.5	10	6.7	0.3	0.007	rev / seg
Energía	Alimentación	127 VAC / 12 VDC (Preferido)	115VAC	115 VAC	127 VAC /	127 VAC /	
	Consumo máximo de energía	<= 60	1500	1500	5	12	W
Otros	Peso Aprox de un actuador	<= 5	2.5	9.4	0.5	2.0	kg
	Imagen						

Tabla Selección de sistema de movimiento versión 2

Desarrollar bosquejos y diseño de forma preliminares para los portadores de funciones principales determinantes en la configuración	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C4**



Seleccionar bosquejos preliminares apropiados	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C5**

Nota: Algunas de las siguientes etapas no se desarrollaron por ser rediseño.

Desarrollar bosquejos y diseño de forma preliminares para los portadores de funciones principales restantes	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C6**

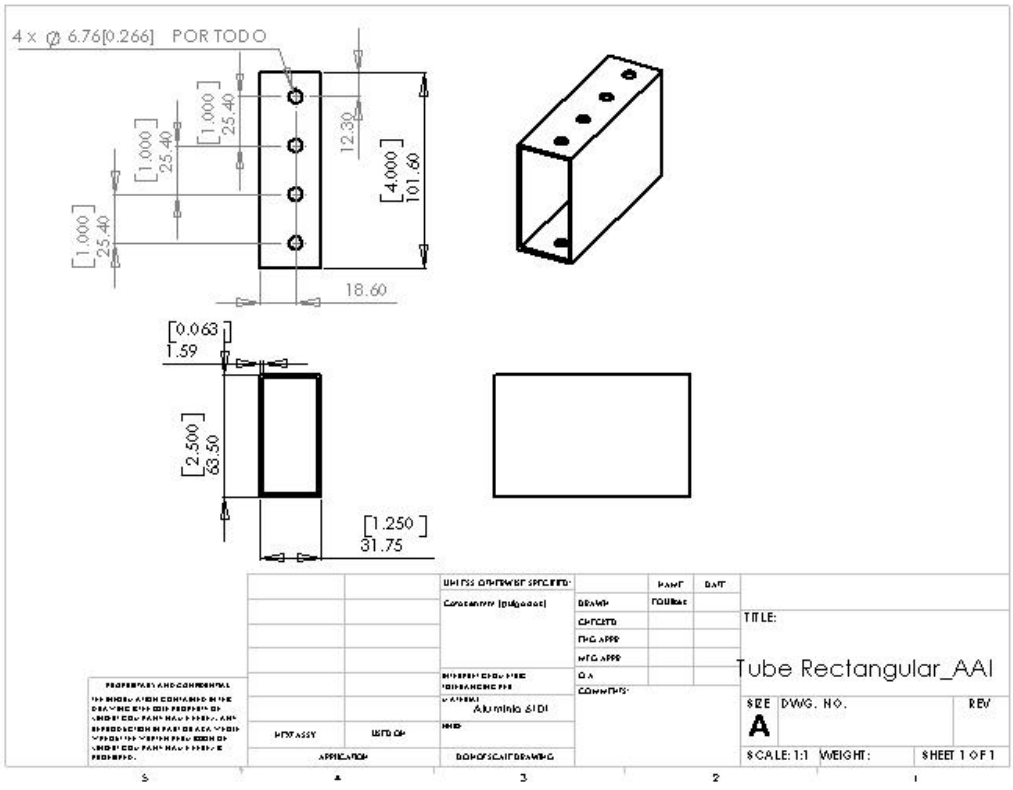
Búsqueda de soluciones para las funciones auxiliares	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C7**

Desarrollo de bosquejos y diseños de forma detallada para los portadores de funciones principales asegurando la compatibilidad con los portadores de funciones auxiliares	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C8**

Desarrollo de bosquejos y diseños de forma detallada para los portadores de funciones auxiliares y completar los bosquejos generales	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C9**

Evaluación contra criterios técnicos y económicos	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C10**

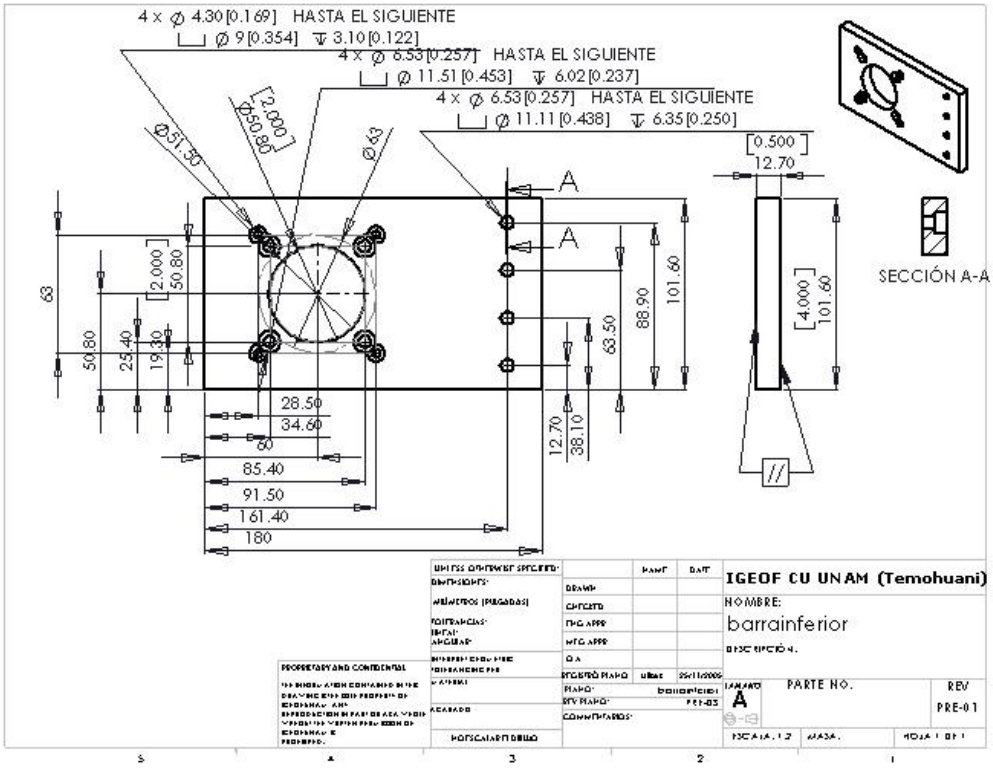
Configuración preliminar (Layout)	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C11**

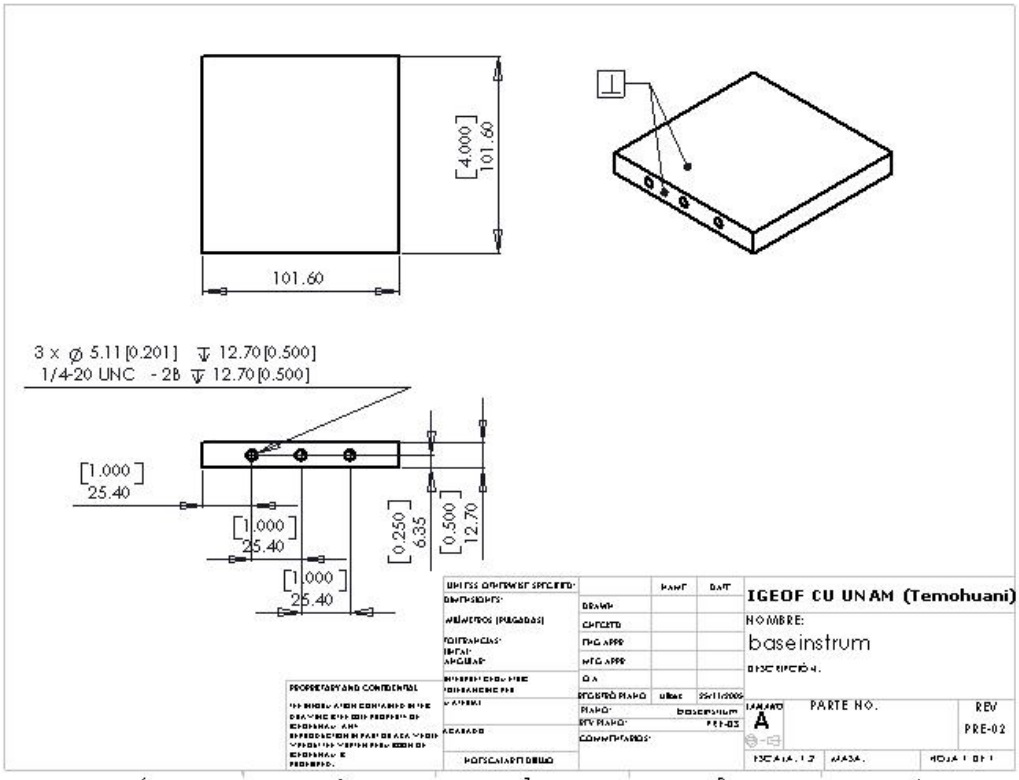


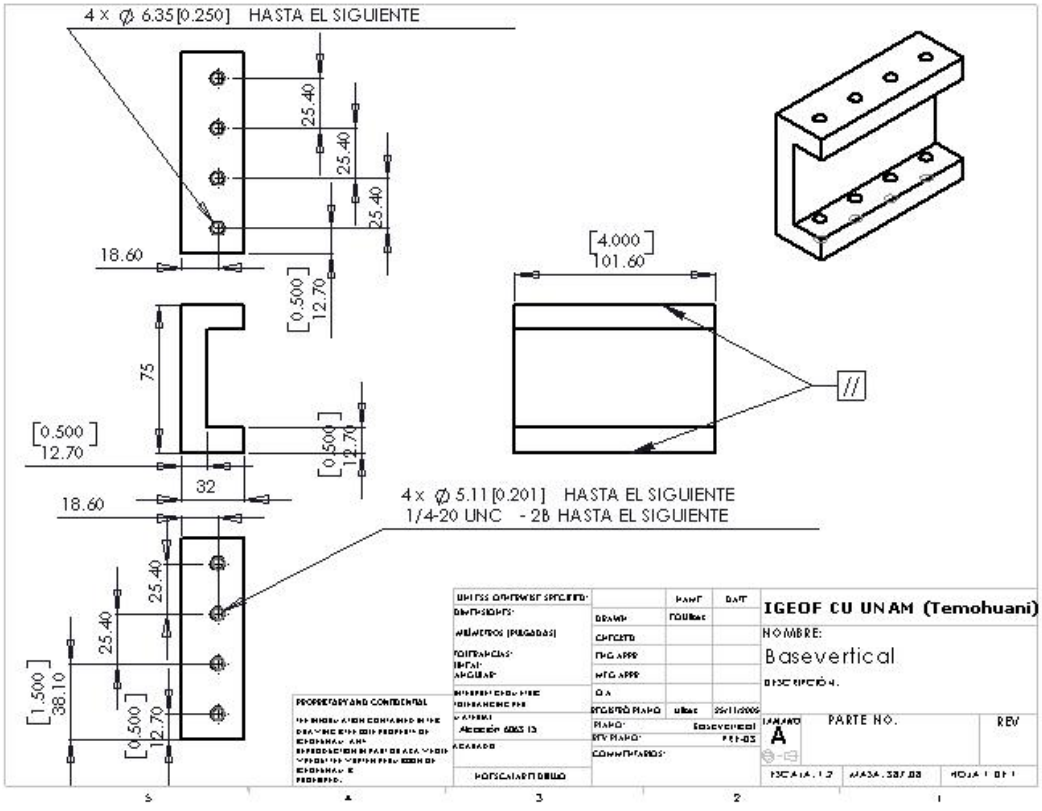
Optimizar y completar diseños de forma	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C12**

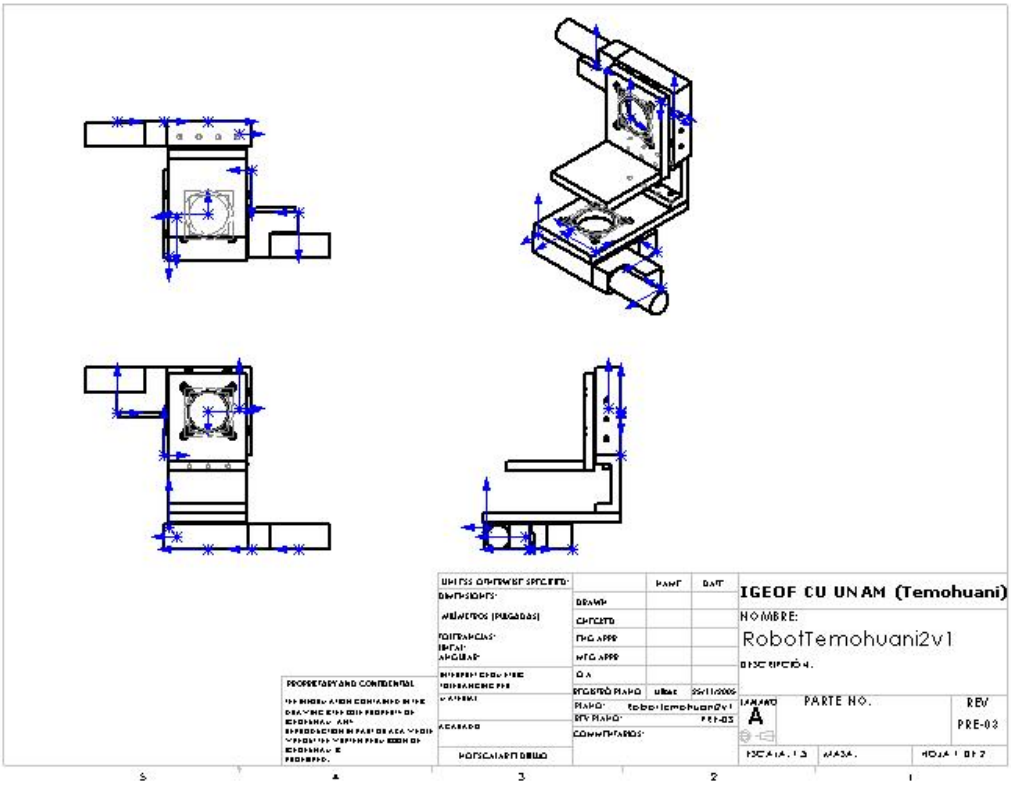
Revisar para errores y factores de perturbación	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C13**

Preparar lista de partes preliminar y documentos de producción	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C14**




[4.000]
101.60
101.60
3 x ⌀ 5.11 [0.201] ⌖ 12.70 [0.500]
1/4-20 UNC - 2B ⌖ 12.70 [0.500]
[1.000]
25.40
[1.000]
25.40
[1.000]
25.40
[0.250]
6.35
[0.500]
12.70
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS:
ACABADO
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
NAME
DATE
DRAWN
CHECKED
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
REGISTRÓ PLANO
ulises
25/11/2009
PLANO:
baseinstrum
REV PLANO:
PRE-02
COMMENTS:
IGEOF CU UNAM (Temohuani)
NOMBRE:
baseinstrum
DESCRIPCIÓN:
TAMAÑO
A
PARTE NO.
REV
PRE-02
ESCALA: 1:2
MASA:
HOJA 1 DE 1


4 x ⌀ 6.35 [0.250] HASTA EL SIGUIENTE
25.40
25.40
25.40
18.60
[0.500]
12.70
75
[0.500]
12.70
[0.500]
12.70
32
18.60
4 x ⌀ 5.11 [0.201] HASTA EL SIGUIENTE
1/4-20 UNC - 2B HASTA EL SIGUIENTE
25.40
25.40
[1.500]
38.10
[0.500]
12.70
[4.000]
101.60
//
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS:
ACABADO
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
NAME
DATE
DRAWN
CHECKED
ENG APPR.
MFG APPR.
Q.A.
REGISTRÓ PLANO
ulises
25/11/2009
PLANO:
Basevertical
REV PLANO:
PRE-03
COMMENTS:
IGEOF CU UNAM (Temohuani)
NOMBRE:
Basevertical
DESCRIPCIÓN:
TAMAÑO
A
PARTE NO.
REV
ESCALA: 1:2
MASA: 387.08
HOJA 1 DE 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DIMENSIONS:	DRAWN		
ARE IN INCHES [MILLIMETERS]	CHECKED		
TOLERANCES: FRACTIONAL ANGULAR:	ENG APPR		
	MFG APPR		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:	Q.A		
MATERIAL	REGISTRO PLANO	ulises	25/11/2005
FINISH	PLANO:	fobo-temohuani2v1	
	REV PLANO:		PRE-03
NEXT ASSY	COMMENTARIOS:		
USED ON			
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL			

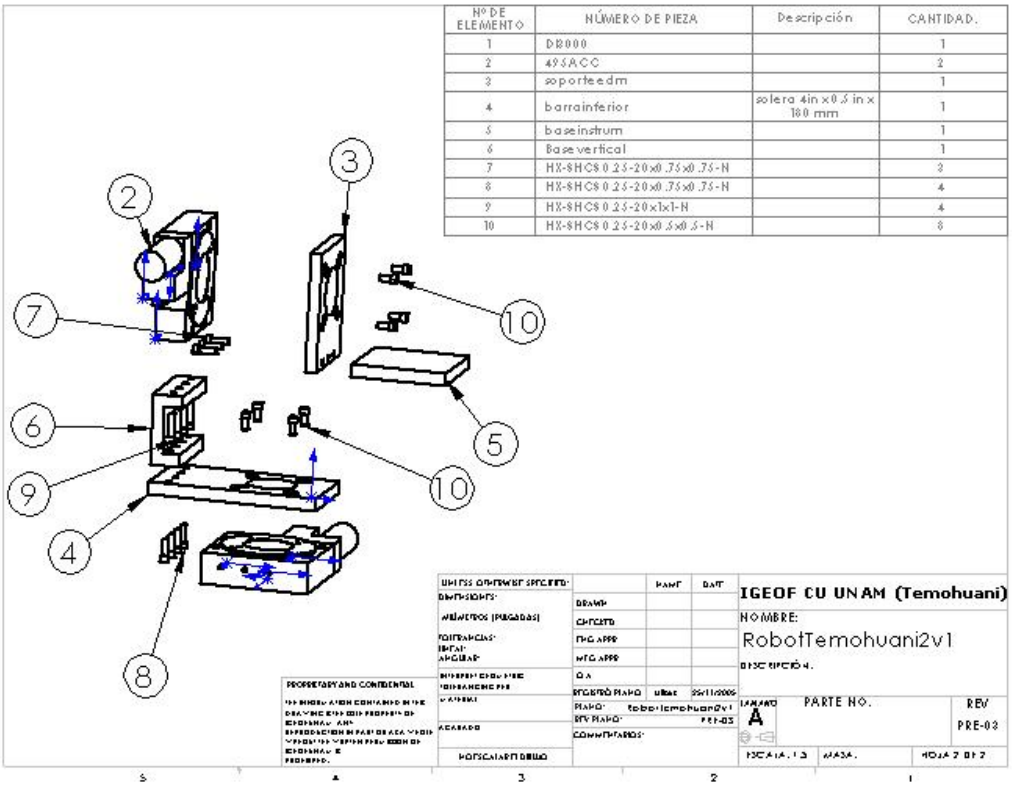
IGEOF CU UNAM (Temohuani)

NOMBRE:

RobotTemohuani2v1

DESCRIPCIÓN:

TAMAÑO	PARTE NO.	REV
A		PRE-03
ESCALA: 1:3	MASA:	HOJA 1 DE 2



Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	Descripción	CANTIDAD.
1	DB000		1
2	49SACC		2
3	soporteedm		1
4	barrainferior	solera 4in x 0.5 in x 180 mm	1
5	baseinstrum		1
6	Basevertical		1
7	HX-SHCS 0.25-20x0.75x0.75-N		3
8	HX-SHCS 0.25-20x0.75x0.75-N		4
9	HX-SHCS 0.25-20x1x1-N		4
10	HX-SHCS 0.25-20x0.5x0.5-N		8

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DIMENSIONS:	DRAWN		
ARE IN INCHES [MILLIMETERS]	CHECKED		
TOLERANCES: FRACTIONAL ANGULAR:	ENG APPR		
	MFG APPR		
INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:	Q.A		
MATERIAL	REGISTRO PLANO	ulises	25/11/2005
FINISH	PLANO:	fobo-temohuani2v1	
	REV PLANO:		PRE-03
NEXT ASSY	COMMENTARIOS:		
USED ON			
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL			

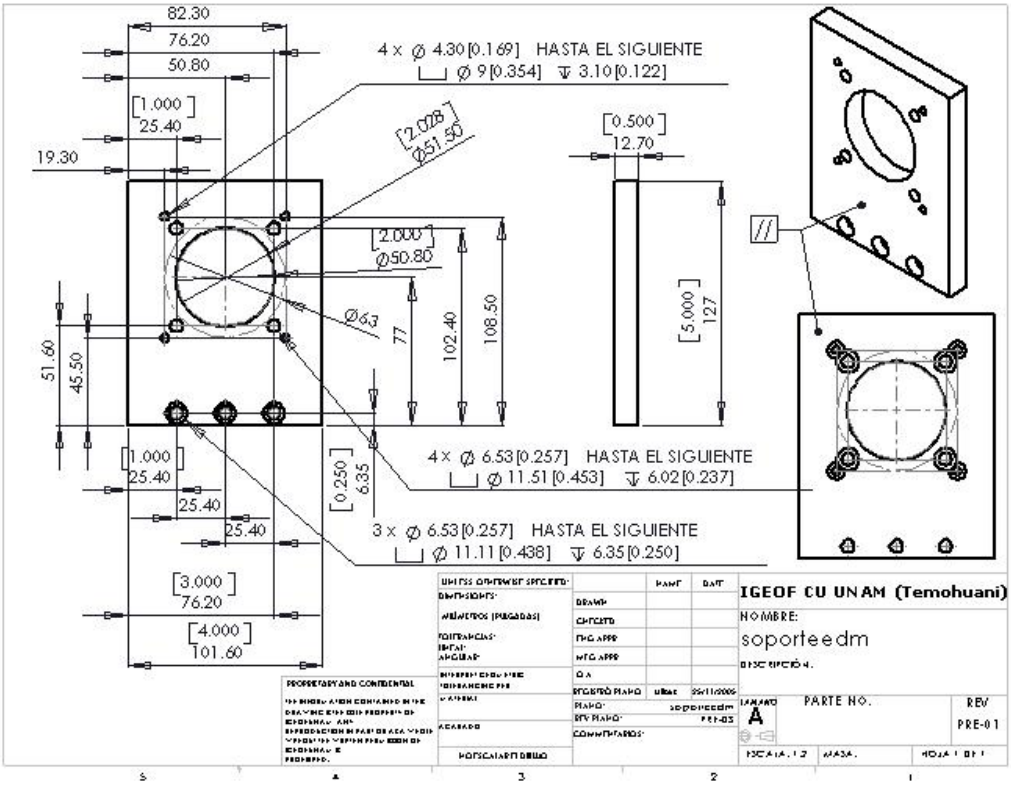
IGEOF CU UNAM (Temohuani)

NOMBRE:

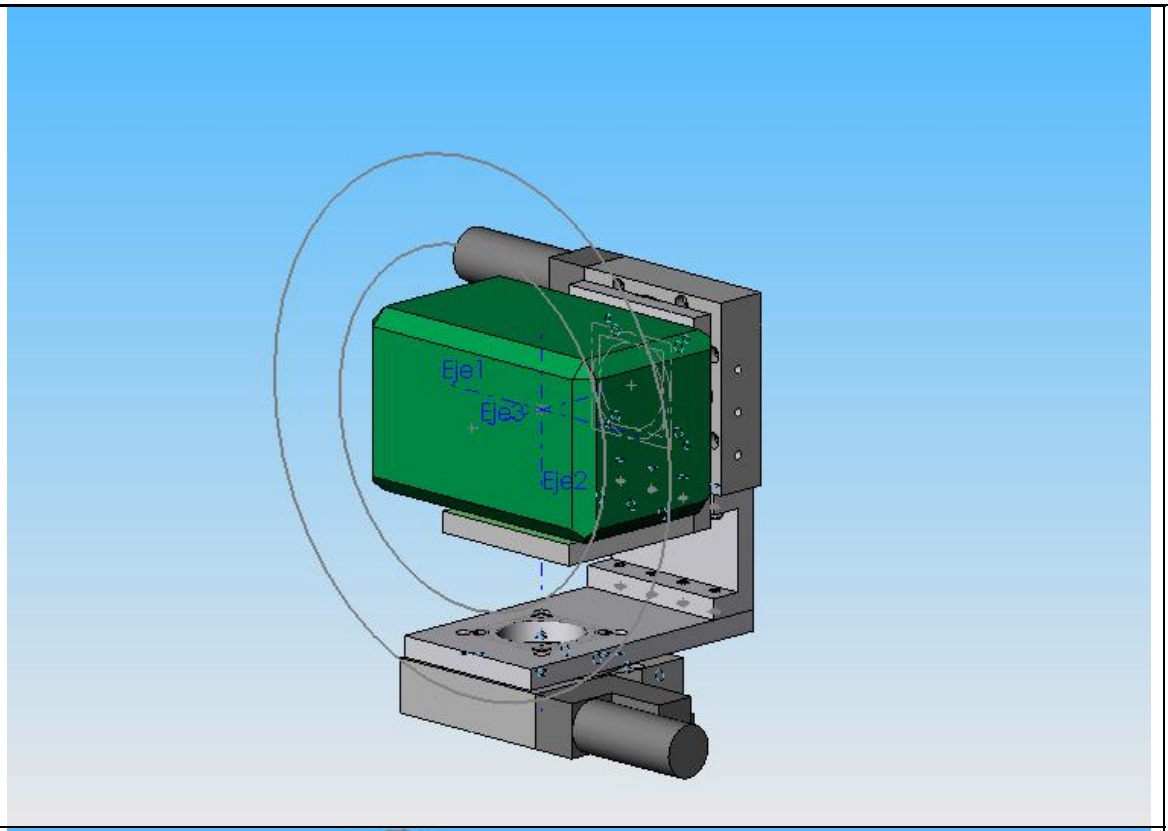
RobotTemohuani2v1

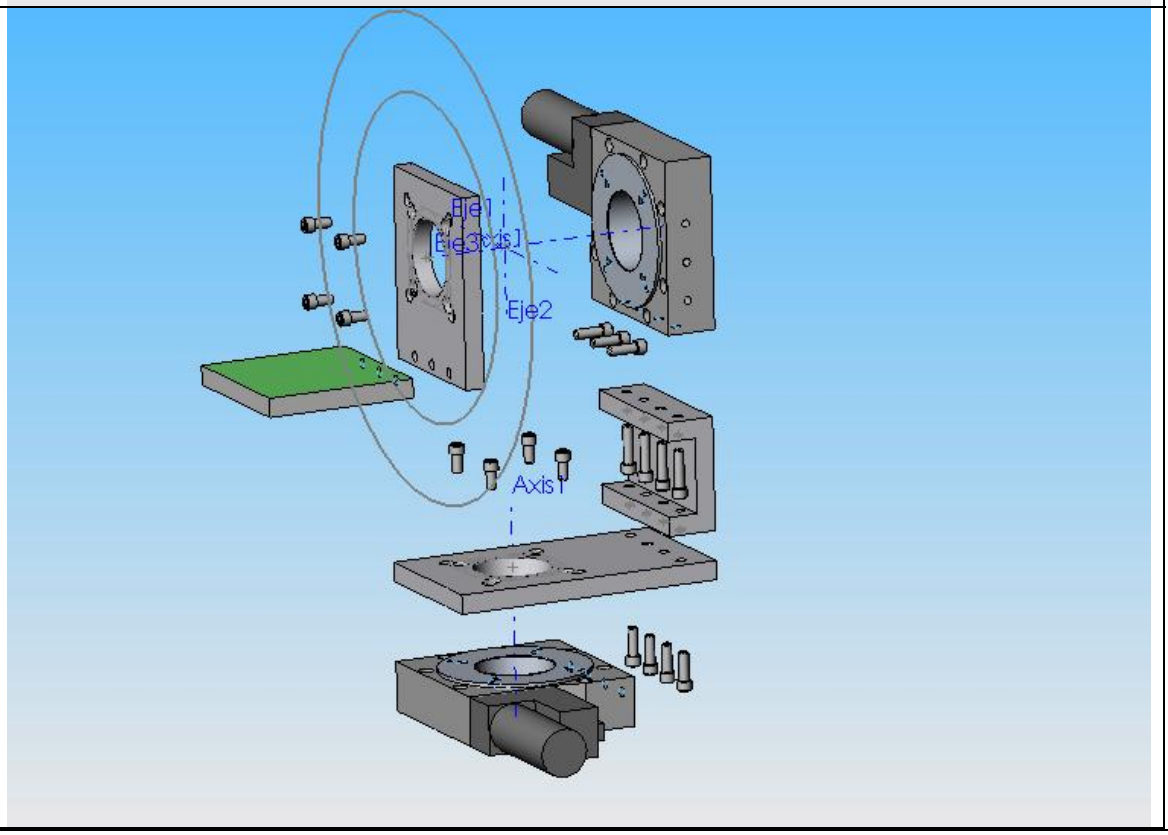
DESCRIPCIÓN:

TAMAÑO	PARTE NO.	REV
A		PRE-03
ESCALA: 1:3	MASA:	HOJA 2 DE 2



Configuración definitiva ↓	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**C15**


Eje1
Eje3
Eje2


Eje1
Eje3
Axis1
Eje2
Axis1

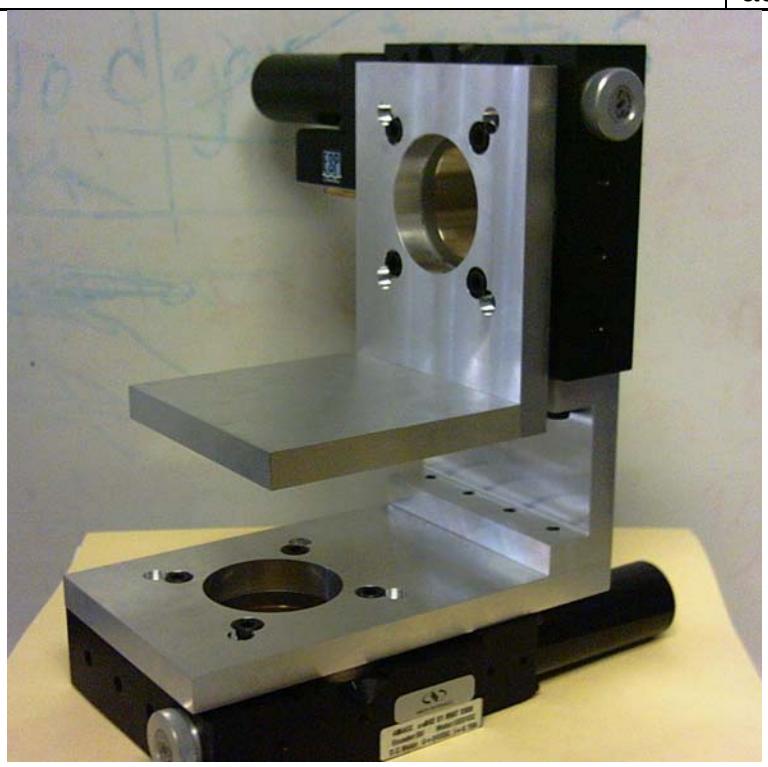
3.6 D-DISEÑO DE DETALLE

Dibujos de detalle revisados	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**D1**
En proceso		

Documentos de producción revisados	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**D2**
En proceso		

Lista de documentos	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**D3**
En proceso		

Solución	Fecha: ddmmaa Revisión: aaa-##	**D4**



4 ANÁLISIS DE DATOS DE DEFORMACIÓN

Cuando entró en operación la primera generación del sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas Temohuani 1, se inicio la búsqueda de la mejor forma de analizar los datos recibidos. Algunos objetivos son:

- Presentar claramente la deformación presente en tiempo real o prácticamente real.
- Presentar el historia de datos con facilidad de consulta y representación clara.
- Efectuar correlaciones entre la deformación y datos obtenidos de otras manifestaciones de la actividad volcánica
- Retroalimentar al sistema de medición para ajustar sus parámetros
- Presentar un pronóstico de actividad volcánica basado en las correlaciones y el análisis de la tendencia de las deformaciones.
- Capacidad de hacer el análisis de manera automatizada y semi-automatizada.

En este capítulo se muestra un avance del análisis de datos, el desarrollo todavía no finaliza porque se sigue trabajando para alcanzar los objetivos y lograr la integración total con los sistema Temohuani.

El proceso presentado puede ir desde la base de datos original (actualizada en tiempo real por el Temohuani) hasta realizar correlaciones con las otras manifestaciones de actividad volcánica y representar todo en gráficas. Todo esto se realiza de forma semi- automatizada debido a limitantes de las plataformas de desarrollo de software utilizadas. Los algoritmos y procesos se realizaron sobre Mathcad[12] lo que permitió insertar de manera directa la matemática y contar con funciones incorporadas en el software. Este software permite crear un documento "vivo" en donde el usuario inserta expresiones matemáticas y el programa tiene la capacidad de evaluarlas y operarlas.

El Temohuani agrega en tiempo real registros a la base de datos, en este caso generada en Access[13] mismos que por medio de una búsqueda SQL son seleccionados e importados a Mathcad. Una vez en el documento "vivo" los datos son filtrados y acondicionados para poder realizar las correlaciones y finalmente graficar.

Una muestra de los documentos utilizados para el análisis puede ser consultada en el Anexo 4.

En total se cuenta con mas de 85 documentos de Mathcad, entendiendo que algunos procesos se repiten para diferentes puntos de medición, es decir los procesos de filtrado son prácticamente los mismos para un punto (conjunto de prismas en el volcán) conocido como "canario" que para "Texcalco" o "Meseta". Se analizan un máximo de 4 diferentes puntos de medición.

[12] Mathcad es un software de Mathsoft Engineering & Education, Inc. www.mathcad.com
[13] Access es un software de Microsoft Corporation.

Otro tema importante a considerar es el tamaño del conjunto de datos a procesar ya que en ocasiones el tiempo de proceso en una PC con procesador Intel Pentium 4 a 2.4 GHz y 630 MB de RAM llegaba a ser de 6 horas.

Un proceso de depuración y mejora contínua ha ocurrido desde el primer día que entró en operación el sistema, lo que ha provocado cambios en la estructura del software de control y adquisición de datos. Estos cambios obligan a separar la base de datos en etapas temporales, cada etapa es un conjunto de datos que comparten características de estructura de base de datos similares y por tanto se les puede aplicar el mismo algoritmo.

Otro factor que obligó a dividir en etapas fue el cambio de EDM después de sufrir un daño irreparable debido a la falla en la fuente de alimentación.

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA
Procesos de análisis de datos del EDM
Ordenado según flujo de información

Distancias y temperatura
Base de datos en: MSACCESS
Archivo: \EDM\BaseDeDatosTEMOHUANI.mbd

canario : Tabla

	ID	Fecha	Hora	Distancia	Temper	Punt	Tiempo
▶	1	06/11/1999	12:55:33 p.m.	2888019		1	36470.5385763889
	2	06/11/1999	12:55:45 p.m.	2888018		1	36470.5387152778
	3	06/11/1999	12:55:51 p.m.	2888006		1	36470.5387847222
	4	06/11/1999	12:55:57 p.m.	2888016		1	36470.5388541667
	5	06/11/1999	12:56:06 p.m.	2888016		1	36470.5389583333
	6	06/11/1999	12:56:12 p.m.	2888021		1	36470.5390277778
	7	06/11/1999	12:58:29 p.m.	2888016		1	36470.5406134259
	8	06/11/1999	12:58:40 p.m.	2888018		1	36470.5407407407
	9	06/11/1999	12:58:46 p.m.	2888016		1	36470.5408101852

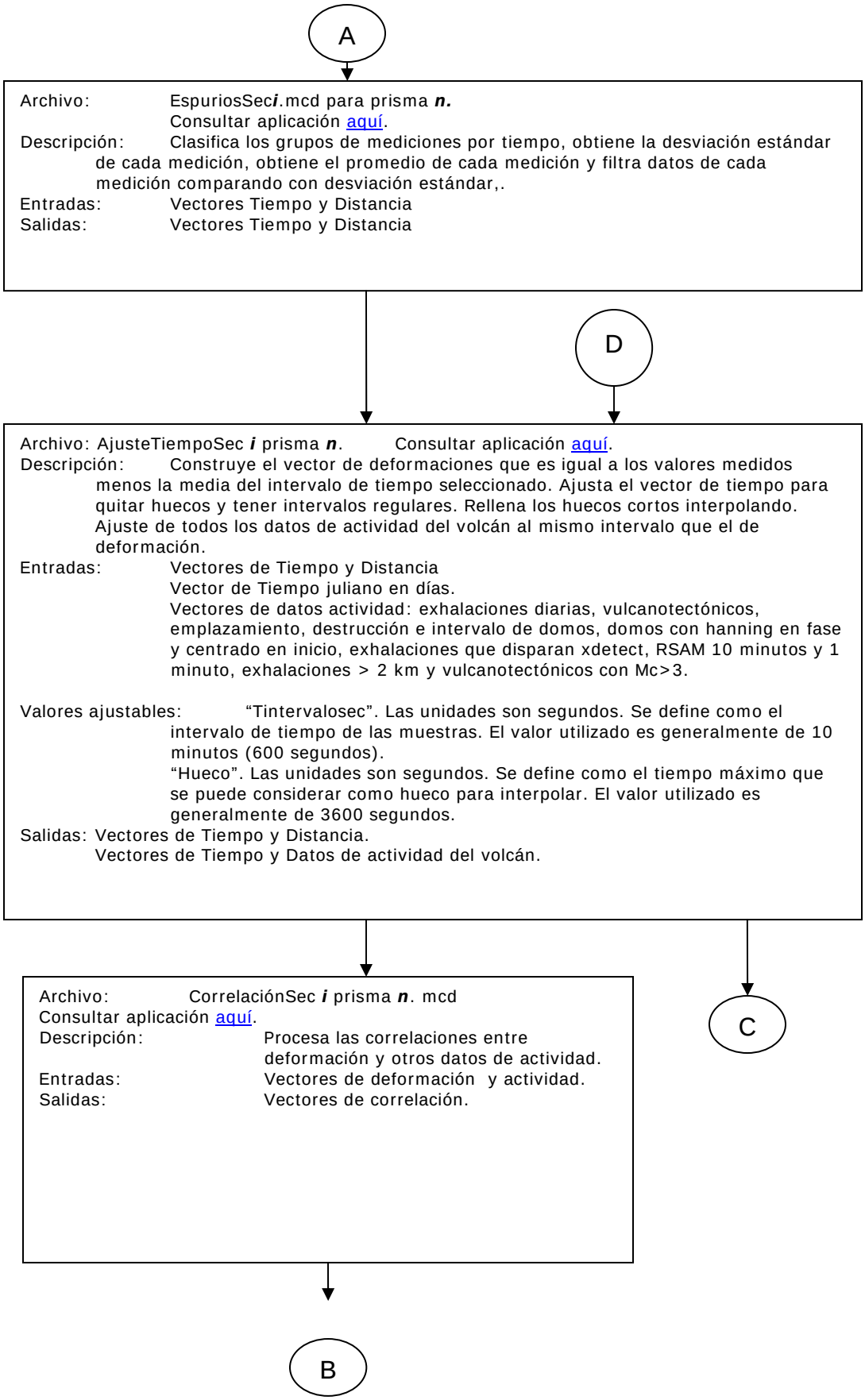
ODBC Administración de orígenes de datos

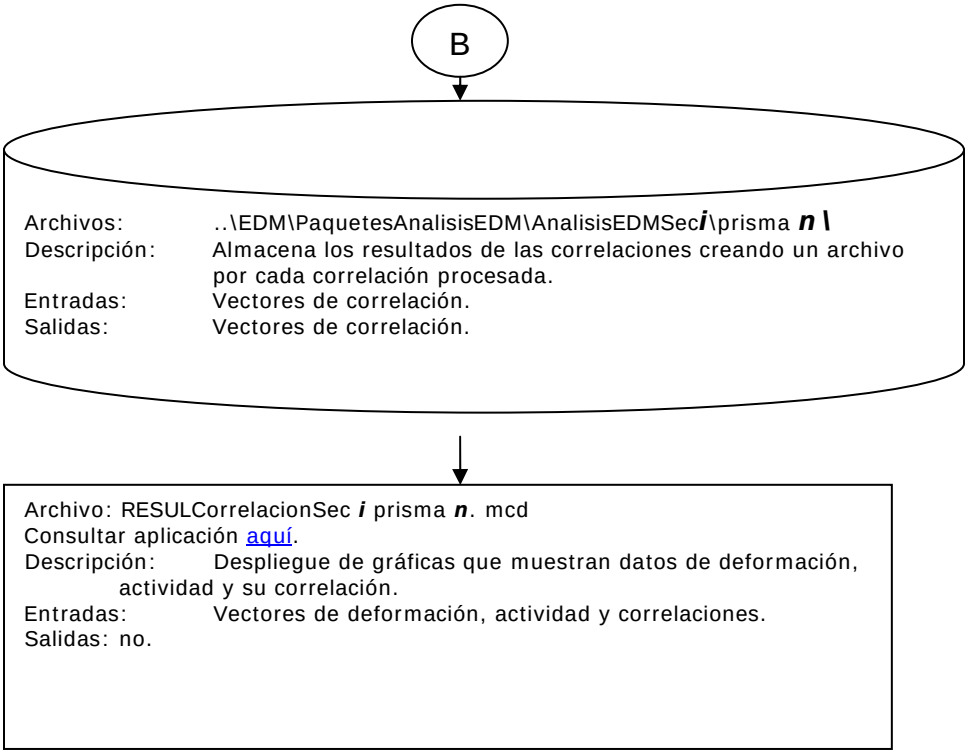
Instrucciones

Archivo: ConsultaACCSec***i***.mcd, consultar aplicación aquí.
Descripción: Dentro de la sección de tiempo ***i*** lee directamente los datos de distancias que correspondan al intervalo de tiempo buscado y almacena en matrices para cada prisma.
Entradas: Base de datos de distancias.
Intervalos de tiempo para búsqueda.
Salidas: Variables en forma de matriz para cada punto.

Archivo: SeparadorSec***i***.mcd, consultar aplicación aquí.
Descripción: Procesado preliminar separando, ordenando y filtrando errores de adquisición sobre base de datos original.
Entradas: Matrices de datos por cada prisma.
Salidas: Matrices de datos por cada prisma.
Vectores de datos por campo y por prisma.

A


A
Archivo: EspuriosSec*i*.mcd para prisma ***n.***
Consultar aplicación aquí.
Descripción: Clasifica los grupos de mediciones por tiempo, obtiene la desviación estándar de cada medición, obtiene el promedio de cada medición y filtra datos de cada medición comparando con desviación estándar,.
Entradas: Vectores Tiempo y Distancia
Salidas: Vectores Tiempo y Distancia
D
Archivo: AjusteTiempoSec ***i*** prisma ***n***. Consultar aplicación aquí.
Descripción: Construye el vector de deformaciones que es igual a los valores medidos menos la media del intervalo de tiempo seleccionado. Ajusta el vector de tiempo para quitar huecos y tener intervalos regulares. Rellena los huecos cortos interpolando. Ajuste de todos los datos de actividad del volcán al mismo intervalo que el de deformación.
Entradas: Vectores de Tiempo y Distancia
Vector de Tiempo juliano en días.
Vectores de datos actividad: exhalaciones diarias, vulcanotectónicos, emplazamiento, destrucción e intervalo de domos, domos con hanning en fase y centrado en inicio, exhalaciones que disparan xdetect, RSAM 10 minutos y 1 minuto, exhalaciones > 2 km y vulcanotectónicos con Mc>3.
Valores ajustables: "Tintervalosec". Las unidades son segundos. Se define como el intervalo de tiempo de las muestras. El valor utilizado es generalmente de 10 minutos (600 segundos).
"Hueco". Las unidades son segundos. Se define como el tiempo máximo que se puede considerar como hueco para interpolar. El valor utilizado es generalmente de 3600 segundos.
Salidas: Vectores de Tiempo y Distancia.
Vectores de Tiempo y Datos de actividad del volcán.
Archivo: CorrelaciónSec ***i*** prisma ***n***. mcd
Consultar aplicación aquí.
Descripción: Procesa las correlaciones entre deformación y otros datos de actividad.
Entradas: Vectores de deformación y actividad.
Salidas: Vectores de correlación.
C
B


B
Archivos: ..\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec*i*\prisma ***n*** ****
Descripción: Almacena los resultados de las correlaciones creando un archivo por cada correlación procesada.
Entradas: Vectores de correlación.
Salidas: Vectores de correlación.
Archivo: RESULCorrelacionSec ***i*** prisma ***n***. mcd
Consultar aplicación aquí.
Descripción: Despliegue de gráficas que muestran datos de deformación, actividad y su correlación.
Entradas: Vectores de deformación, actividad y correlaciones.
Salidas: no.

Datos Actividad:

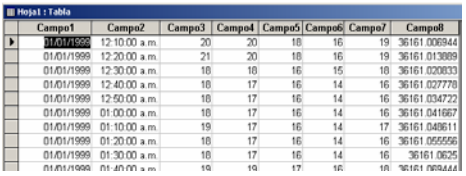
- Exhalaciones Diarias
- Vulcanotectónicos Diarios
- Domos (Volumen, tiempos inicio, destrucción, suavizado con hanning en fase y hanning centrado en inicio)
- Exhalaciones mayores a 2km
- Exhalaciones que dispararon XDETECT
- Vulcanotectónico Mc>3

Base de datos en: MSEXCEL
Archivos:
\EDM\ACTIVIDAD\EXHA-TOT.xls
\EDM\ACTIVIDAD\EXHA-VT.XLS
\EDM\ACTIVIDAD\domosjuliano.xls
\EDM\ACTIVIDAD\julianoacuexh2kmUno2.xls
\EDM\ACTIVIDAD\volca_mag3.xls

Datos Actividad:

- RSAM 10 minutos
- RSAM 1 minuto

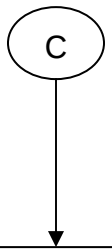
Base de datos en: MSACCESS
Archivos:
\EDM\ACTIVIDAD\rsamtodo.mdb
\.....


Hoja1 : Tabla

Campo1	Campo2	Campo3	Campo4	Campo5	Campo6	Campo7	Campo8
01/01/1999	12:10:00 a.m.	20	20	18	16	19	36161.006944
01/01/1999	12:20:00 a.m.	21	20	18	16	19	36161.013889
01/01/1999	12:30:00 a.m.	18	18	16	15	18	36161.020833
01/01/1999	12:40:00 a.m.	18	17	16	14	16	36161.027778
01/01/1999	12:50:00 a.m.	18	17	16	14	16	36161.034722
01/01/1999	01:00:00 a.m.	18	17	16	14	16	36161.041667
01/01/1999	01:10:00 a.m.	19	17	16	14	17	36161.048611
01/01/1999	01:20:00 a.m.	18	17	16	14	16	36161.055556
01/01/1999	01:30:00 a.m.	18	17	16	14	16	36161.0625

Archivo: Eventos.mcd, consultar aplicación aquí.
Descripción: Para todas las secciones de tiempo. Lee directamente los datos de actividad y los almacena en matrices.
Entradas: Base de datos de Actividad.
Salidas: Variables en forma de matriz para cada conjunto de datos de actividad.

D



Archivo: ResultadosCorrelacionSec ***i*** prisma ***n*** RSAM. mcd
Consultar aplicación aquí.
Descripción: Define un intervalo de tiempo, obtiene una submatriz de la sección, procesa correlaciones entre deformación y datos RSAM; despliega gráficas.
Entradas: Vectores de datos deformación
Vectores de datos actividad RSAM.
Valores Ajustables: "TI". Tiempo inicial de consulta.
"TF". Tiempo final de consulta.
Salidas: no

Ejemplo de resultados de análisis de datos:

RESULTADOS Correlaciónes Sección 1 Canario

Enlace externo de datos (ENTRADA):
Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\AjusteTiempoSec1Can.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\CorrelacionSec1Can.mcd(R)

Lectura de datos de correlaciones previamente procesados

Sec1CanCorr1 :=

Sec1CanCorr8 :=

Sec1CanCorr2 :=

Sec1CanCorr9 :=

Sec1CanCorr3 :=

Sec1CanCorr10 :=

Sec1CanCorr4 :=

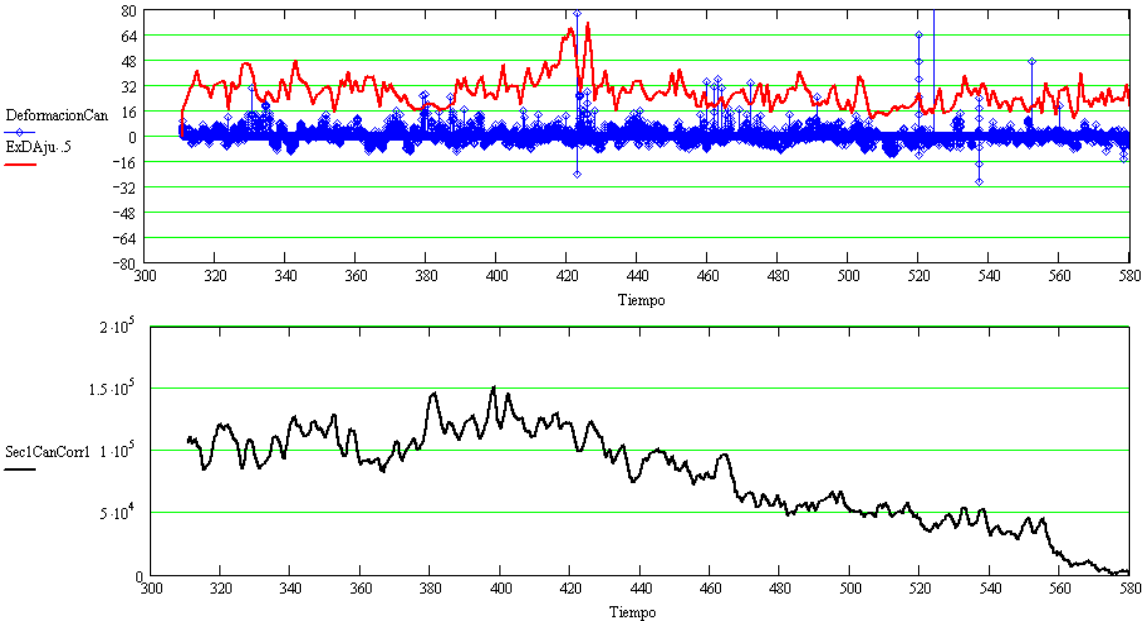
Sec1CanCorr5 :=

Sec1CanCorr6 :=

Sec1CanCorr7 :=

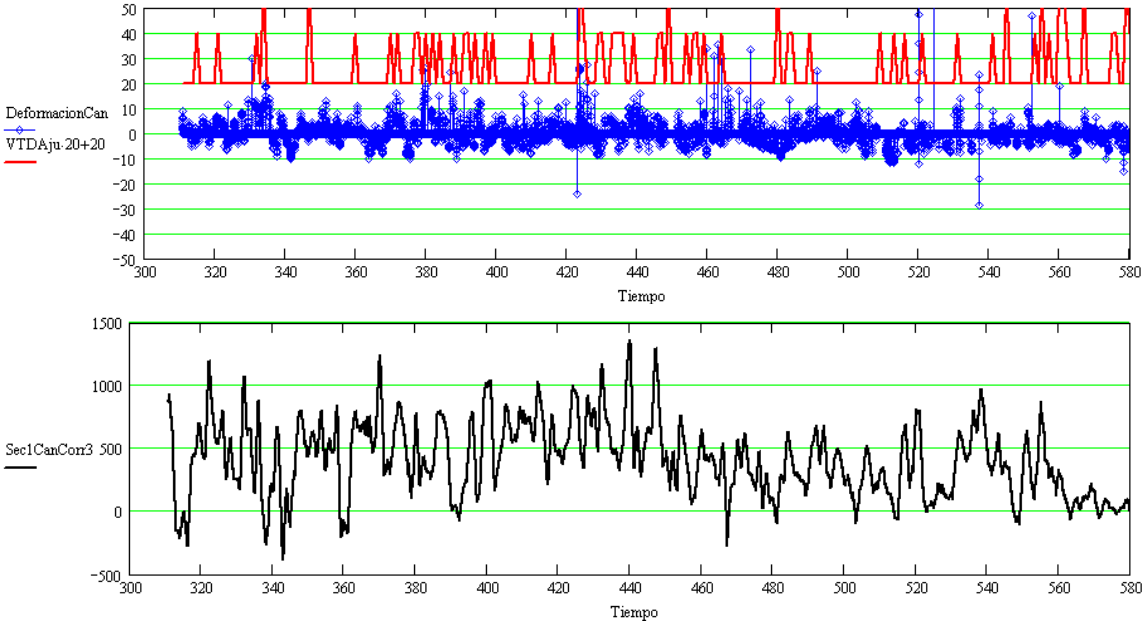
Correlación Deformación - EXHALACIONES-DIARIAS Contadas en sismogramas

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000
CANARIO



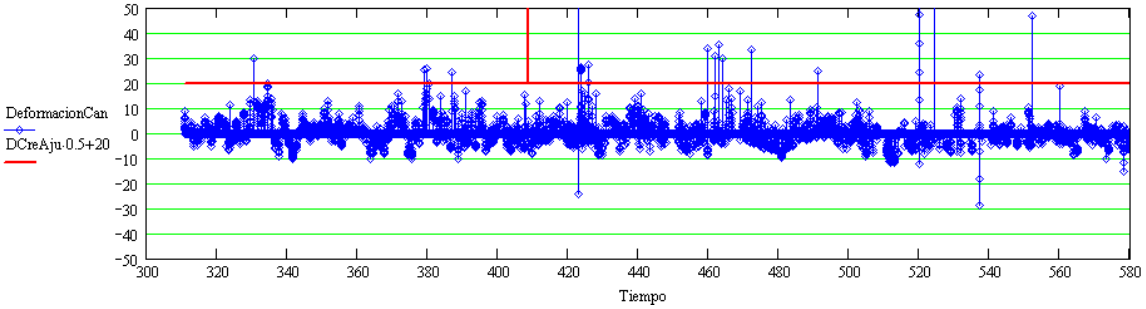
Correlación Deformación - Vulcanotectonicos

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000
CANARIO

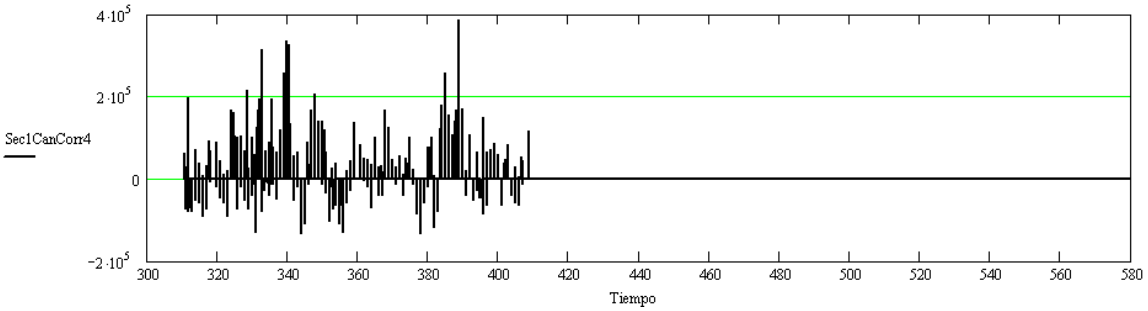


Correlación Deformación - Domos Crecimiento

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

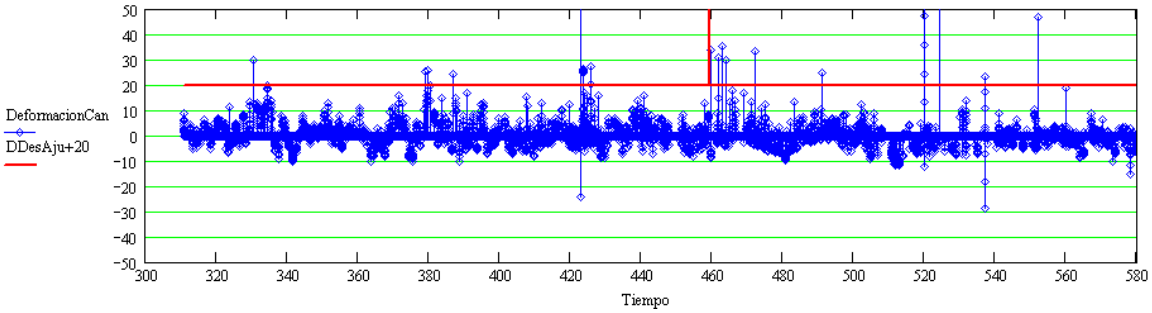


CANARIO

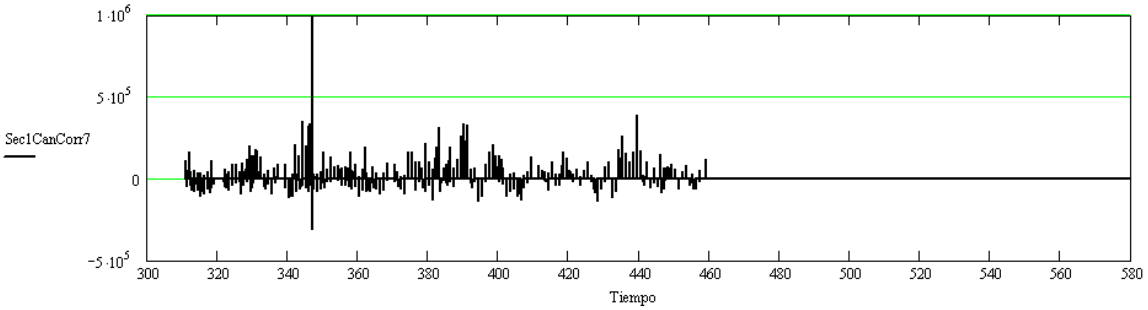


Correlación Deformación - Domos Destrucción

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

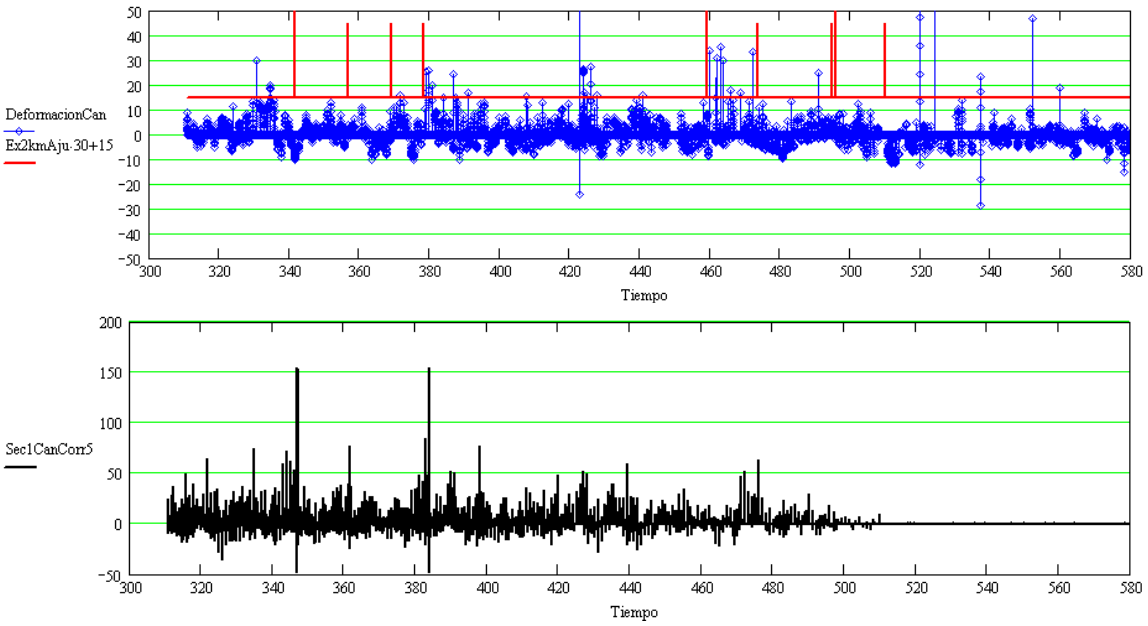


CANARIO



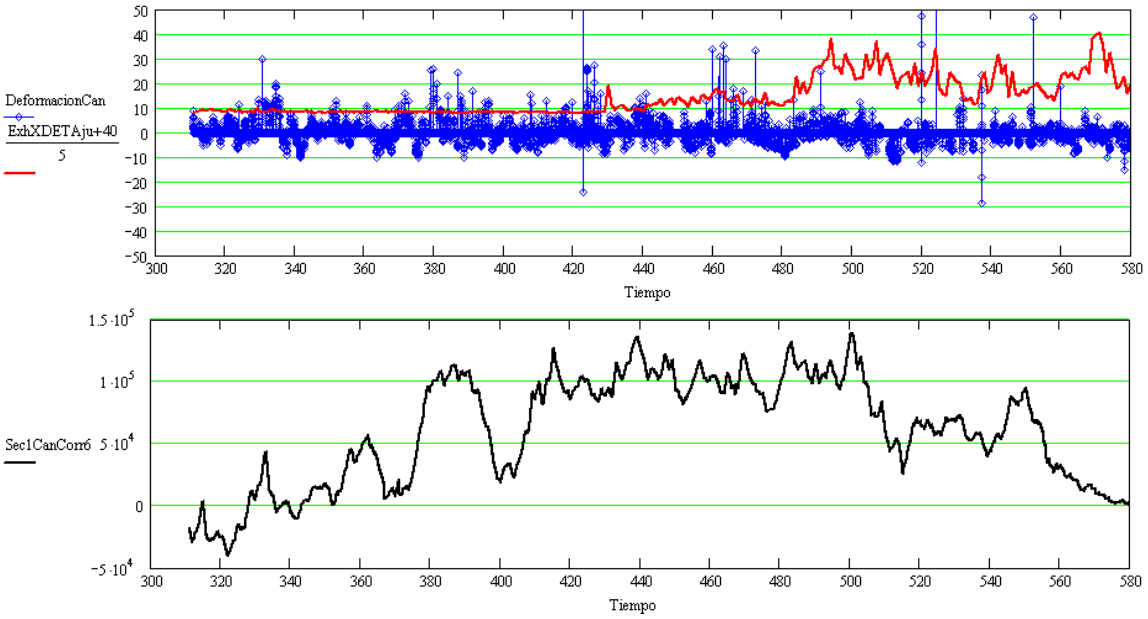
Correlación Deformación - Exhalaciones > 2km.

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000
CANARIO



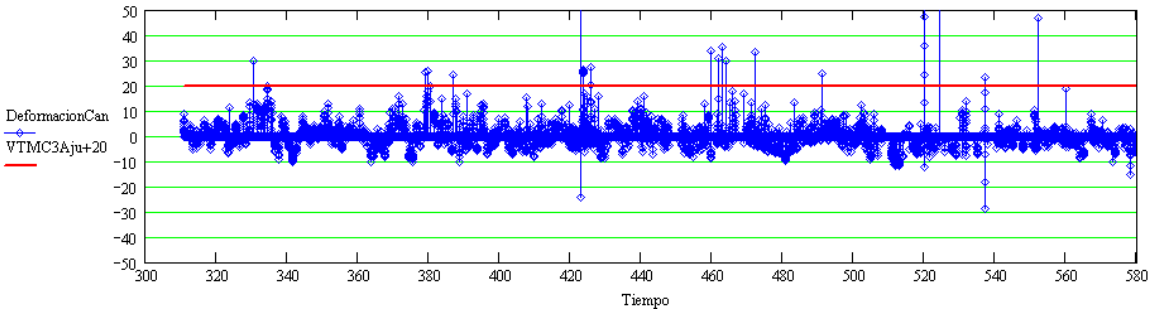
Correlación Deformación - Exhalaciones dispararon Xdetect

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000
CANARIO

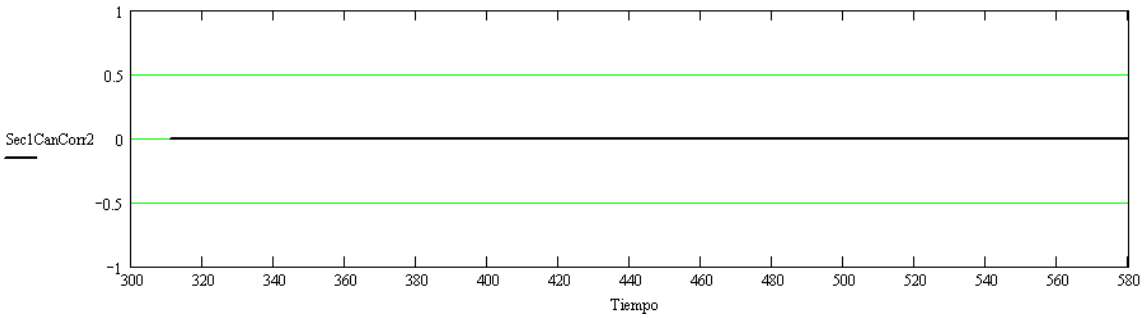


Correlación Deformación - Vulcanotectonicos MC>3

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

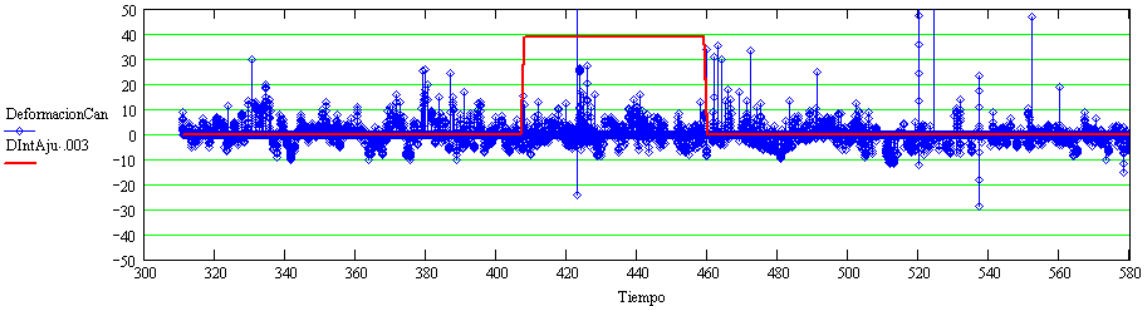


CANARIO

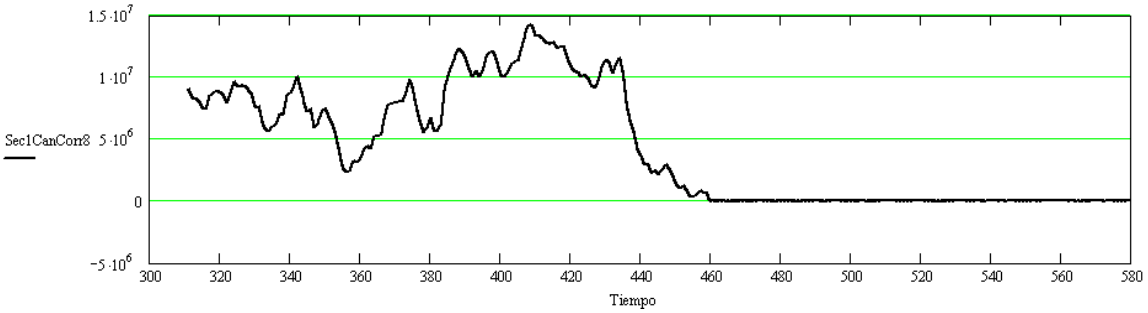


Correlación Deformación - Domo Pulso

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

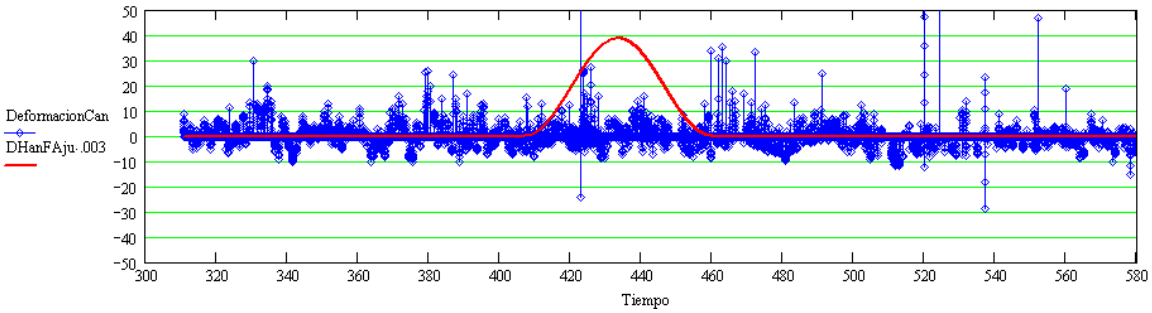


CANARIO

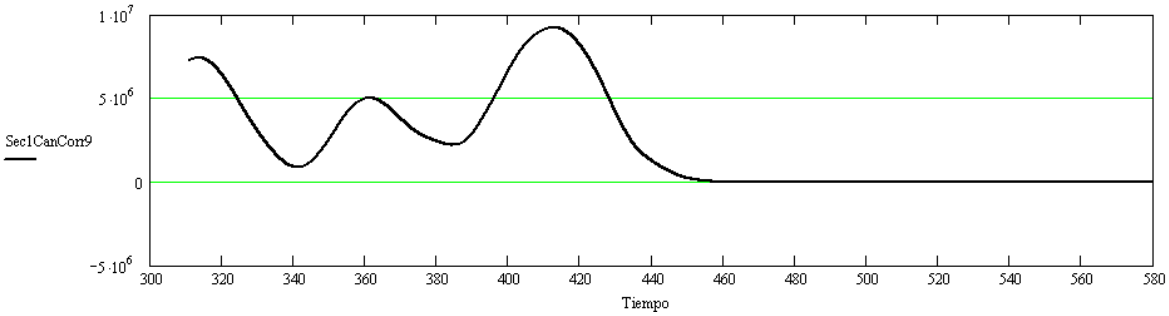


Correlación Deformación - Domo Hanning en Fase

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

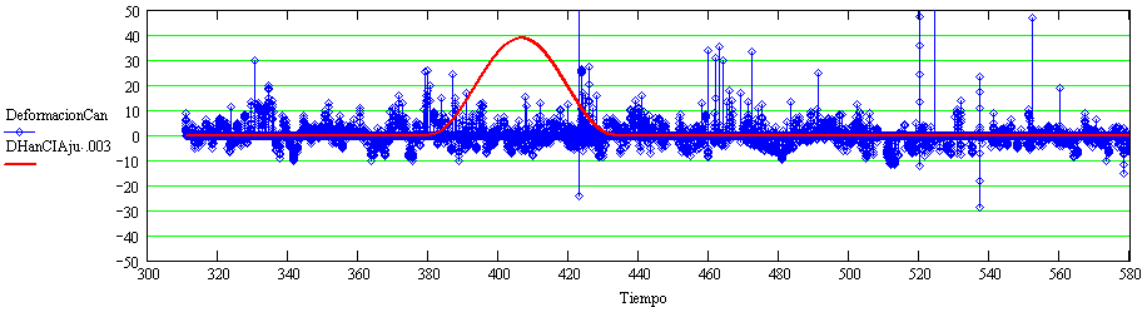


CANARIO

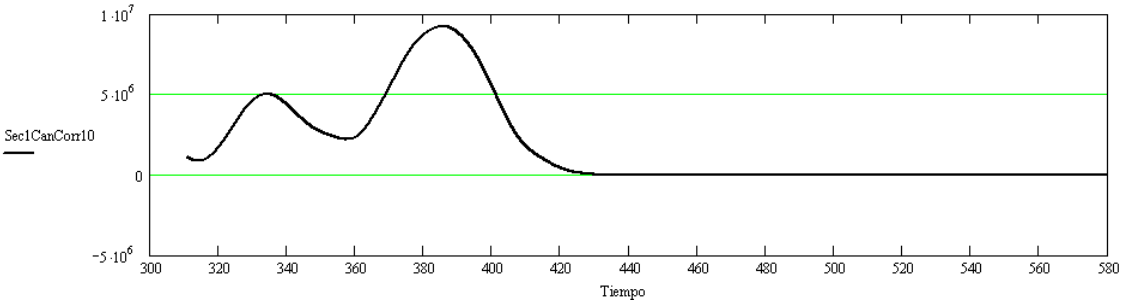


Correlación Deformación - Domo Hanning centrado en inicio

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000



CANARIO



Correlaciones RSAM Sección 1

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

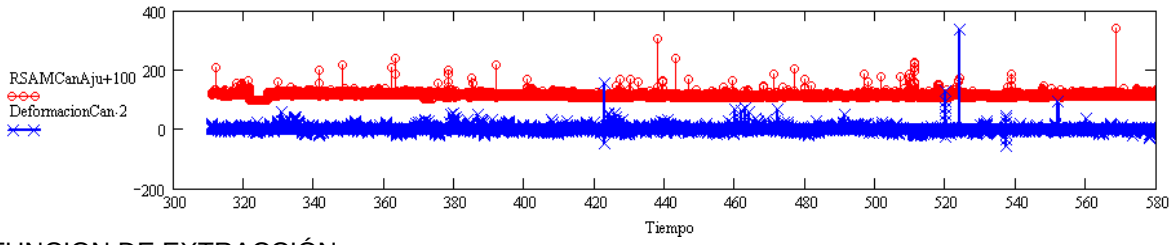
Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\AjusteTiempoSec1Can.mcd(R)



FUNCION DE EXTRACCIÓN

$$\text{Extraer}(D, TInicial, TFinal) := \begin{| U \leftarrow 0 \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..\text{rows}(Tiempo) - 1 \\ \quad \text{if } (Tiempo_j \geq TInicial) \wedge (Tiempo_j \leq TFinal) \\ \quad\quad U_k \leftarrow D_j \\ \quad\quad k \leftarrow k + 1 \\ U$$

Intervalo

TI := 341.51

TF := 341.6

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo, TI, TF)

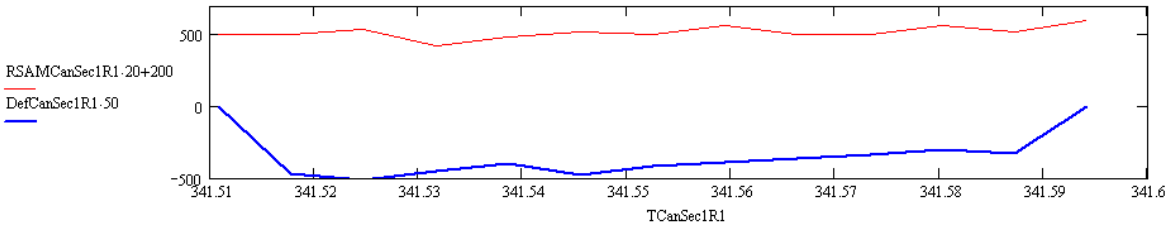
rows(TCanSec1R1) = 13

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju, TI, TF)

rows(RSAMCanSec1R1) = 13

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan, TI, TF)

rows(DefCanSec1R1) = 13



CorrCanSec1R1 := correl(RSAMCanSec1R1,DefCanSec1R1)

RCorrCanSec1R1 := recenter(CorrCanSec1R1)

Mitad := $TCanSec1R1_{\frac{rows(TCanSec1R1)}{2}+1}$

Mitad = ∎

Correlación RSAM - Deformación

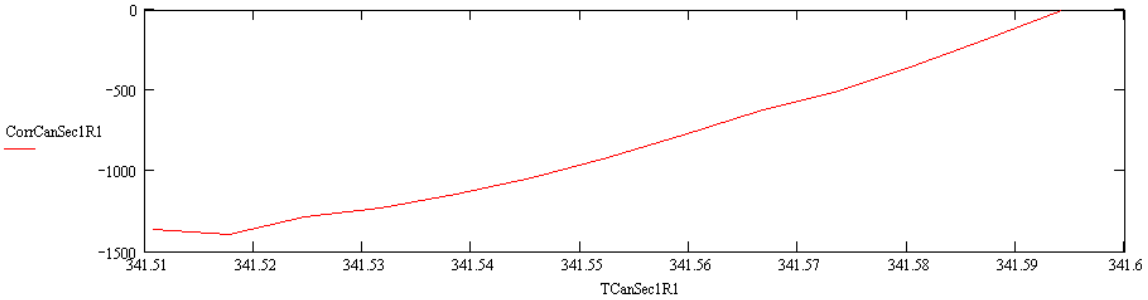
Sección 1 Canario

Fecha inicial

TI = 341.51

Fecha final

TF = 341.6



Intervalo

TI := 458.97

TF := 459.03

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo,TI,TF)

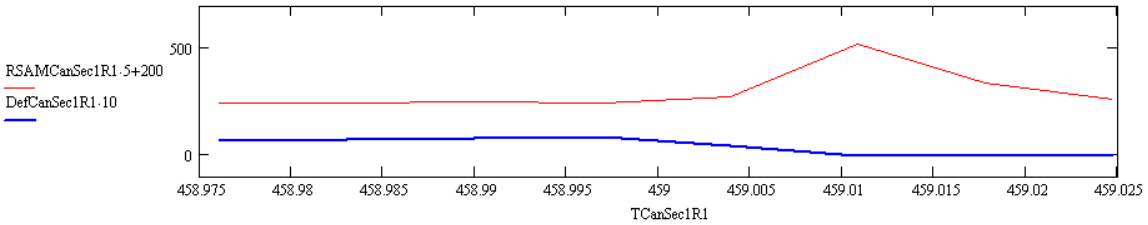
rows(TCanSec1R1) = 8

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju,TI,TF)

rows(RSAMCanSec1R1) = 8

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan,TI,TF)

rows(DefCanSec1R1) = 8



CorrCanSec1R1 := correl(RSAMCanSec1R1,DefCanSec1R1)

RCorrCanSec1R1 := recenter(CorrCanSec1R1)

$$Mitad := TCanSec1R1_{\frac{rows(TCanSec1R1)}{2}+1}$$

Mitad = 459.011

Correlación RSAM - Deformación

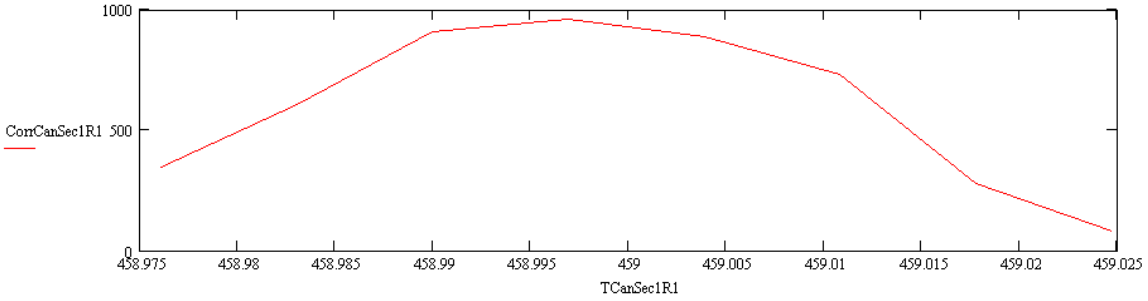
Sección 1 Canario

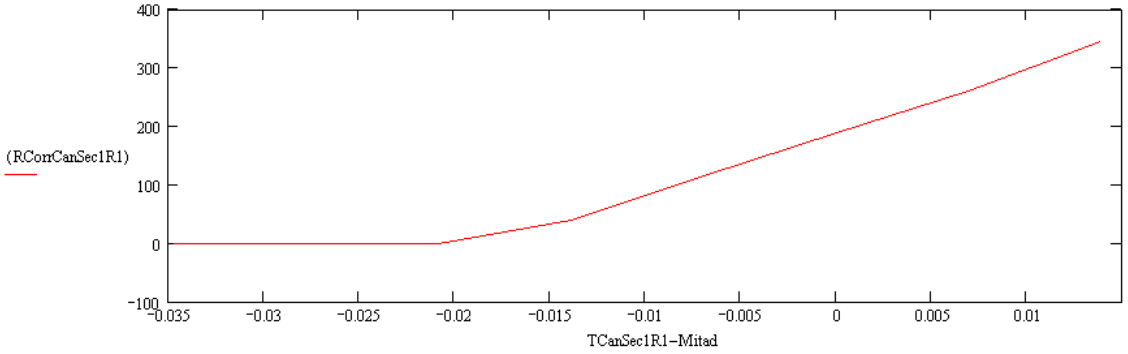
Fecha inicial

TI = 458.97

Fecha final

TF = 459.03





Intervalo

TI := 470.95

TF := 471.07

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo,TI,TF)

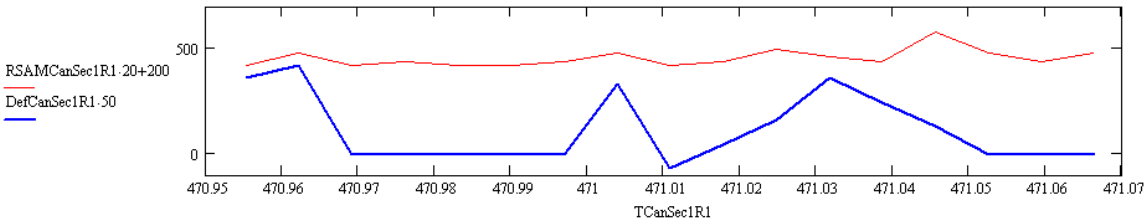
rows(TCanSec1R1) = 17

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju,TI,TF)

rows(RSAMCanSec1R1) = 17

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan,TI,TF)

rows(DefCanSec1R1) = 17



CorrCanSec1R1 := correl(RSAMCanSec1R1,DefCanSec1R1)

RCorrCanSec1R1 := recenter(CorrCanSec1R1)

$$Mitad := TCanSec1R1_{\frac{rows(TCanSec1R1)}{2}+1}$$

Mitad = ∎

Correlación RSAM - Deformación

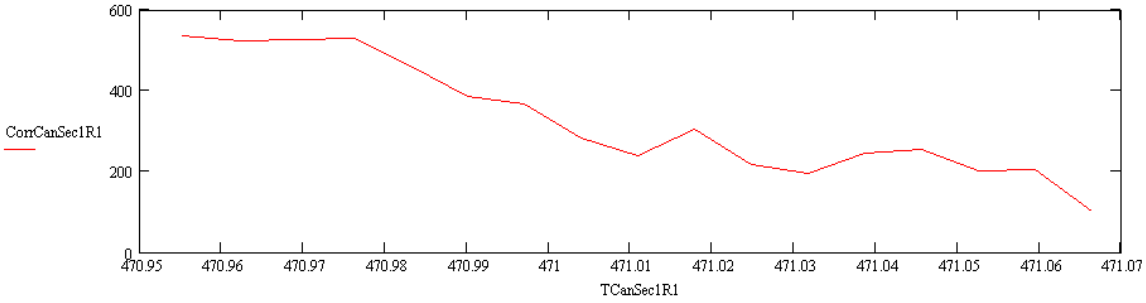
Sección 1 Canario

Fecha inicial

TI = 470.95

Fecha final

TF = 471.07



Intervalo

TI := 471.71

TF := 471.8

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo, TI, TF)

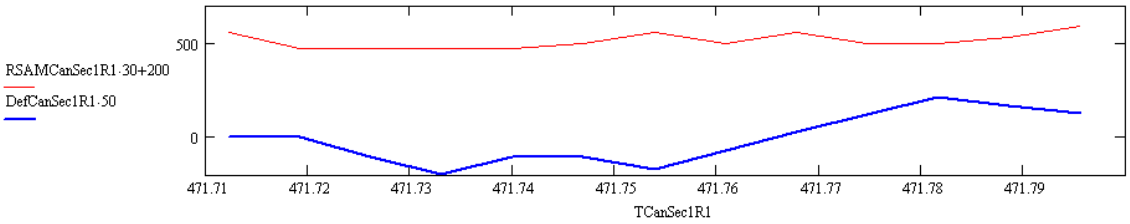
rows(TCanSec1R1) = 13

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju, TI, TF)

rows(RSAMCanSec1R1) = 13

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan, TI, TF)

rows(DefCanSec1R1) = 13



CorrCanSec1R1 := correl(RSAMCanSec1R1, DefCanSec1R1)

RCorrCanSec1R1 := recenter(CorrCanSec1R1)

5 RESULTADOS

Acerca del proyecto:

El prototipo de segunda generación Temohuani 2 lleva un avance considerable en su fabricación. En lo que respecta a las piezas mecánicas se cuenta ya con la estructura de soporte del sistema de movimiento, esta estructura se fabricó con aleación de aluminio (T051 6061) en el taller de maquinado del Instituto de Física de la UNAM utilizando máquinas CNC (control numérico), las piezas son rectificadas y se ensamblan con tornillos. Los actuadores para el movimiento son un par de mesas o platinas rotatorias (engrane – husillo) con la precisión y exactitud requeridas que cuentan con motores de CD y encoders ópticos acoplados al husillo, el control de los motores es un módulo independiente con capacidad de controlar las dos mesas simultáneamente a través de comandos recibidos por puerto serial. El EDM para el Temohuani 2 es un Leica[14] DI3000 que cuenta con un puerto de alimentación y comunicaciones con el que se logra control total del instrumento. El control cómo se explica en la fase de diseño conceptual consiste de una PC que se encarga de las comunicaciones, la adquisición y envío de datos de medición, envío de comandos a control de movimiento, comandos a la ventana automatizada y al resto de periféricos auxiliares. Se cuenta con un microcontrolador que también cuenta con enlace directo de comunicación y que es capaz de re-inicializar, apagar o encender la PC y monitorear las fuentes de energía junto con algunas otros parámetros.
El diseño actual no se ocupa del suministro de energía, da por hecho un suministro adecuado de energía ya sea de línea o generado y almacenado en sitio.
Las comunicaciones siguen con la configuración del Temohuani 1 que se basa en un enlace directo bi-direccional utilizando radiomodems en frecuencia libre.
Se piensa desarrollar un nuevo diseño de ventana automatizada que pueda ser utilizada por todos los sistemas y que ofrezca una mayor confiabilidad y en general mejor desempeño que la utilizada en el Temohuani 1.

El Temohuani 3 esta diseñado siguiendo la misma configuración del Temohuani 2 pero es necesario realizar algunos cambios debido a que el fabricante de las mesas rotatorias dejó de fabricar el modelo URM 495ACC e introdujo el nuevo modelo URS75CC. Este cambio provoca modificaciones en el diseño de las piezas de soporte pero mantiene la compatibilidad en el hardware y software de control. Se piensa desarrollar de forma paralela al ensamble general el módulo de control basado en microcontroladores, de tal forma que se pueda remplazar la PC y utilizar únicamente

[14] Leica DI3000 es marca registrada de Leica Geosystems AG.

microcontroladores. Es importante recordar que la PC que se elimina es la que se encuentra en la estación remota y no la PC de recepción de datos en el centro de monitoreo.

Acerca de la sistematización del proceso de diseño:

Hasta el momento se tiene una metodología basada en la propuesta por Pahl y Beitz[15] pero simplificada en 4 bloques principales como se muestra en la sección 2.4.
Se desarrollaron una serie de formatos en los que destacan los de lista de requerimientos y tabla de especificaciones codificados con al letra A.
Cada bloque cuenta con etapas y a cada etapa le corresponde un formato que tiene como propósito dar orden y claridad al proceso de diseño. La consecuencia de seguir las etapas del bloque es llegar a la última con suficiente información para poder pasar al siguiente bloque, no es necesario completar todos las etapas si es que ya se puede desarrollar la última del bloque.
El diseño no se pudo realizar en su totalidad siguiendo la metodología propuesta debido a que ambos se desarrollaron de forma paralela.

6 CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Acerca del Proyecto:

El sistema de segunda generación denominado Temohuani 2 presenta mejoras importantes respecto a su predecesor, estas mejoras permiten incrementar la confiabilidad del sistema lo que proporcionará más mediciones y disminuirá sustancialmente los trabajos de mantenimiento entre otros beneficios.

Los cambios en el sistema de movimiento tienen que ver con el incremento de precisión de los actuadores y en la configuración de los sensores, se seleccionaron mesas rotatorias de mayor calidad general y en sus componentes mecánicos, electrónicos y de control. Los sensores de posición son los elementos que arrojan datos para la retroalimentación del sistema de movimiento y concretamente le indican el lugar donde se esta proyectando el láser, en el Temohuani 1 estos sensores se acoplaban directamente en cada

[15]G. Pahl & W. Beitz, “Engineering Design A Systematic Approach”, Springer-Verlag 1988.

uno de los ejes de rotación lo que parece lógico ya que es lo que se quiere medir, pero el primer problema que se encontró fue que el acoplamiento mecánico entre el sensor y la plataforma de carga debía ser de precisión para garantizar la integridad en la transmisión de movimiento; otro problema fue la resolución del sensor, que por estar acoplados directamente a los ejes, debía ser igual o superior a la requerida por el sistema. Las posibles soluciones a estos dos problemas sin alterar la configuración serían una mejora en la parte de movimiento mecánico y sensores de posición (encoders) de mayor resolución, lo que implica reconstruir gran parte del mecanismo e integrar sensores de alto costo que además son difíciles de conseguir y delicados en su operación.
La solución al problema de los sensores para el Temohuani 2 fue utilizar mesas o platinas rotatorias con sensor de posición incluido en el ensamble y que garantizaran la resolución, repetibilidad y exactitud en sus movimientos. Las platinas seleccionadas montan el sensor en el husillo y mantienen una precarga entre el husillo y el engrane, cuentan con motor de DC además de maquinados y piezas de precisión. El sensor en el husillo permite mantener sensores de resolución moderada ya que se tiene la multiplicación de engranes, la repetibilidad se mantienen por la precarga y los maquinados de precisión.
Los motores en el sistema de primera generación eran de pasos, permitiendo un control relativamente sencillo pero sacrificando velocidad y resolución. En el sistema de segunda generación el conjunto de motores de DC y encoders conforman un servoactuador mucho más rápido y con mayor resolución.
El control de los actuadores de movimiento mantiene el uso de comandos aunque en la segunda generación se utiliza un módulo independiente y no una tarjeta integrada a la PC, esto permite autonomía y otorga confiabilidad.

Los cambios en el control se concentran en la confiabilidad de la PC, el sistema operativo no esta diseñado para funcionar continuamente y los componentes electrónicos no soportan las condiciones ambientales de los lugares a monitorear, además generalmente requieren de un operador para corregir fallas y es necesario reiniciar el sistema. Para esta segunda generación la configuración de control propuesta consiste en mantener durante una primera etapa la PC pero adicionando un sistema de respaldo basado en microcontroladores y para una segunda etapa eliminar la PC y controlar todo por un conjunto de microcontroladores conectados en red. Ya sea PC o microcontroladores el medio para comunicarse con el EDM y el control de movimiento es por puerto serial, básicamente RS232 o RS485. El control central envía y recibe datos de estos dos dispositivos y probablemente también se comunique con la ventana automatizada.

Otro cambio importante es el EDM en la primera generación se utilizó un Sokkia RED 2L que cuenta con buenas características de medición y

sobretodo de alcance pero su interfase de comunicación no permite el control total del dispositivo ni obtener toda la información requerida por el sistema. En la segunda generación se utiliza un Leica DI3000 que además de contar con buenas características de medición cuenta con una interfase con la que se logra control total del EDM. Para la primera generación fue necesario desarrollar una interfase para adquirir la intensidad de señal de regreso del láser, esto porque el EDM la entrega cómo un sonido, además el RED2L no puede ser apagado o encendido por comandos de control lo que obligó a incorporar un dispositivo de encendido. El DI3000 se puede encender y apagar por comandos recibidos por el puerto serial.

Cómo se menciona en la sección de resultados, la ventana automatiza desarrollada para la primera generación ha sido otro punto de fallas, particularmente por el tipo de motor y los sensores de posición. Se pretende desarrollar una ventana automatizada capaz de cumplir con los requerimientos del sistema y que pueda ser utilizada en primer lugar por esta sistema pero también por otros sistemas de monitoreo como cámaras térmicas, que requieran ser protegidos del medio ambiente y al mismo tiempo operar sin obstáculos de visión que alteren sus datos.

Cada dato de distancia enviado por el EDM necesita ser etiquetado con la fecha y hora en que fue adquirido, el sistema de primera generación utiliza el reloj de la PC cómo referencia, pero por su deriva tiene que ser recalibrado regularmente, esto se logra enviando un ajuste desde la PC del centro de monitoreo a la PC remota. Para la segunda generación se piensa utilizar en primer lugar un reloj de tiempo real con oscilador compensado por temperatura capaz de mantener una buena estabilidad y en segundo lugar un GPS que proporcione la referencia de tiempo.

De manera adicional se pretende incorporar a los sistemas sensores de inclinación que podrían proporcionar una referencia extra de posición y eventualmente obtener dos beneficios: 1. La mejora en precisión de movimiento y su consecuente mejora en precisión global del sistema debido a mejor localización de objetivos, y 2. Capacidad de medir el cambio de elevación además del cambio de distancia, esto sería un dato útil en la medición de deformación por tratarse de otra componente.

Acerca de la metodología:
El estudio simultáneo de la metodología y la práctica aporta un doble beneficio. La metodología se depura y enriquece al momento de aterrizar la teoría en un problema real, involucrando los factores técnicos, de tiempo y económicos. El proyecto de diseño cuenta con una estructura sistematizada que permite llegar a la mejor solución de manera objetiva y clara.

En la práctica el uso de la metodología requiere contar con un sistema bien estructurado, con formatos bien definidos y además es deseable el apoyo de medios electrónicos.
El mayor beneficio y las mejores soluciones al proyecto se obtendrán con versiones depuradas de la sistematización del proceso de diseño. Es deseable utilizar un proceso de diseño sistematizado pero sin que el mismo se convierta en un obstáculo y al final se deje de lado. Lo anterior implica que la metodología debe ser fácil de seguir manteniendo el propósito por la que fue creada.

6.2 TRABAJO FUTURO

Al momento de imprimir esta tesis continúa el proceso de fabricación de los prototipos y sus sistemas auxiliares, la confiabilidad del sistema completo depende de que todas sus partes funcionen adecuadamente para lo que se requieren más etapas de diseño y validación. Para las siguientes generaciones será necesario reducir el costo lo que llevará a una nueva iteración del proceso de diseño.
En particular se puede adelantar que: nuevos sensores de posición, actuadores como los motores directos (direct drive), actuadores piezoeléctricos, scanner 3D, sistema de control redundante basado en redes de microcontroladores, ahorros energéticos y generadores eólicos, GPS's y otros tipos de relojes en tiempo real y otros dispositivos seguramente aparecerían en las tablas de evaluación y posiblemente en las especificaciones de las siguientes generaciones de sistemas automatizados de medición.
Además es importante hacer un análisis para evaluar la conveniencia de integrar en el diseño la parte del contenedor del sistema, es decir, hasta el momento se consideran cómo partes separadas el sistema automatizado de medición y el lugar o contenedor donde se instala, sería deseable formar un solo paquete que pudiera ser instalado muy rápidamente, prácticamente que pueda ser arrojado al sitio y que al mismo tiempo cumpla con los requerimientos de funcionalidad y seguridad.

La metodología de diseño requiere de un proceso de depuración y de su integración con medios electrónicos de tal forma que se automaticen las formalidades y finalmente el diseñador obtenga mayor libertad creativa y optimice su tiempo.

ANEXOS

ANEXO1

PLANEACIÓN DEL PRODUCTO Y PDS DEL SISTEMA

PDS DEL SISTEMA FECHA ACTUALIZACION 06-Dic-02

Especificaciones de diseño para el producto

FABRICANTE				PARAMETROS					
				El mejor de la competencia	Modelo Actual	Diseño Actual	Clase mundial (Objetivo)	Unidades	Observaciones
MODELO				LEICA					
	Base de datos			GeoMoS	Tenohuani I	Tenohuani II			
		Acceso multiusuario		si	si	si	si	si/no	
		Capacidad SQL		si	si	si	si	si/no	SQL server
		Respaldo y archivo		si	si	si	si		
		Capacidad de exportar e importar		si	si	si	si		
	Sensores	EDM		si	si	si	si		
		TPS		si	podria	si	si		
		GPS		si	no	deseable	si		
		meteorologicos		si	solo temperatura	si	si		
		geotecnicos					si		
		Soporte del estandar XML		si	no	deseable	si		
		Marcas soportadas		todas	1	>=2	todas		Capacidad para conectar equipos de diferentes fabricantes
	Comunicacion	Datos	Transmision automatizada	si	si	si	si		
			Integridad de los datos	5	4	5	5		5= muy buena, 0 muy mala
		Medios soportados	Cable	si	si	si	si		Cable directo
			Radiomodems	si	si	si	si		
			Modem	si	si	si	si		
			GSM	si	no	deseable	si		Telefonia celular
			LAN	si	si	si	si		
			WAN	si	podria	deseable	si		Internet
		Protocolos	TCP/IP	si	parcialmente	muy deseable	si		
			RS-232	si	si	si	si		
		Velocidad de transmision		Tiempo Real	Tiempo Real	Tiempo Real	Tiempo Real		Tiempo practicamente real
		Confiabilidad		4	3	5	5		Software + Hardware
	Medicion	Ciclo de medicion	Configurabilidad	sofisticado	3 modos	inteligente	inteligente		
							muy		
	Analisis	Modelado meteorológico		si	no	poco sofisticado	sofsticado		
		Deformacion	Revisión de limites	si	no	si	si		
			Graficas de deformacion	si	Datos crudos y una curva suavizada	si	si		
			Graficas con vectores	si	no	deseable	si		
		Procesado de datos historicos		si	si	si	si		
		Manejo de eventos	Capacidad	si	no	muy deseable	si		limites excedidos de deformacion, probabilidad de falla, desfazamientos
			Sistemas de mensajes	si	podria	muy deseable	si		Pager, e-mail, digital I/O

PDS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

FECHA ACTUALIZACIÓN 06-Dic-02

Especificaciones de diseño para el producto

			PARAMETROS El mejor de la competencia	Modelo Actual	Diseño actual	Clase mundial (Objetivo)	UNIDADES	COMENTARIOS
MARCA			**LEICA**			**RIEGL (Algunos aspectos)**		
MODELO			**TCRA 1101**	**TEMOHUANI I**	**TEMOHUANI II**	**LPM 800HA**		
MEDICIÓN DE DISTANCIAS	TIPO (Infrarojo, Laser, etc.)		infrarojo	infrarojo	infrarojo	infrarojo		
	MODELO SENSOR		TCRA 1101	SOKKIA RED 2L	LEICA DI3000S	**LD90-3800 HiP-LR**		sensor o instrumento
	TECNOLOGÍA		medición cambio de fase	medición cambio de fase	medición cambio de fase	pulsos		
	RANGO (condiciones atmosfericas promedio),metros	**A UN SOLO PRISMA CIRCULAR**	3000	4600	8000	12500	m	prisma circular GPR1
		A UN SOLO PRISMA 360°	1500				m	prisma omnidireccional 360°
		A UN PRISMA TRIPLE		6400	13000		m	
		A UN ARREGLO DE 9 PRISMAS		9800			m	
		A CINTA REFLEJANTE	250	?	?	2500	m	cinta 60mm x 60 mm
		SIN PRISMA		no	deseable	si (para Reflectividad >= 80% : hasta 2800m; para R>=10% : >800m)		depende de reflectividad.
	PRECISION (Desviación estándar)		2mm + 2ppm	5mm+5ppm	3mm + 1ppm	25mm +-20ppm		(ISO 17123-4)
	RESOLUCION (mm)		1	1	1	2	mm	
	TIEMPO DE MEDICION (Segundos)	A PRISMA	1	6	3.5	0.25 - 1	s	
	TIPO DE DESPLIEGUE							
	RANGO DE CORRECCIÓN DE DISTANCIAS	Atmosférico ppm						
	MEDICION CON NIEBLA		probablemente no	no	muy deseable	SI		
	LARGO ALCANCE	**Rango Largo Alcance**	1000-5000				m	
		Precisión Largo Alcance	5mm+2ppm/typ. 2.5seg, max 8seg					(ISO 17123-4)/tiempo para medición
		Metodo	Laser rojo visible					
	RECONOCIMIENTO AUTOMÁTICO DE OBJETIVOS	**RANGO**	1000	3000	8000		m	un prisma circular GPR1
		Precisión	3mm	3mm+ 3ppm	3mm+1ppm			
		Tiempo para medición	3- 4	6	3.5		s	

		Método		Procesamiento digital de imagen	Espiral de búsqueda con láser infrarrojo	Posiblemente el mismo que Temo I			
		Velocidad máxima		25 m/s a 100m	1°/seg	10°/seg o mayor			
	ASEGURAMIENTO DE OBJETIVO	RANGO		800	se puede implementar	SI		m	un prisma circular GPR1
	BUSQUEDA AUTOMÁTICA DE OBJETIVO	Capacidad			se puede implementar	SI			
		RANGO		200				m	un prisma circular GPR1
		Tiempo para medición		<10				seg.	
		Velocidad máxima		50 gon/ sec.					360°=400 gonios
		Método		Procesamiento digital deseñal (ráfaga láser)	Espiral de búsqueda con láser infrarrojo	por definir			
VELOCIDAD MÁXIMA				50 gon/ sec.	1.25°/seg	10°/ seg. o mayor			360°=400 gonios
MEDICIÓN DE ÁNGULOS	Circulo Horizontal	**Precisión [Desviación estándar de una dirección directa e inversa (DIN 18723)] <5 sec.**							
		Micrómetro electrónico	menor unidad detectada						
			menor unidad desplegada						
			orientación al cero después de posicionar telescopio						
			orientación a otra lectura circular después de posicionarse						
			Compensación de doble eje						
	Circulo Vertical	Micrómetro electrónico	menor unidad detectada						
			menor unidad desplegada						
Interfaces de Usuario	Operación: Menú, comando, ambas			si	si	si	no		
	Teclado alfanumérico			si	no (únicamente en sistema completo)	deseable	probablemente		
Nivelación electrónica				si	no	muy deseable	?		
Alarma para fuera de nivelación				si	no	deseable	?		
Amplificador óptico de Plomada integrado									
Base nivelante	Tribrach desmontable			si	podría	deseable	probablemente		
Almacenamiento de datos	Integrada o Externa								
	Capacidad								

Requerimientos Energéticos	**Consumo de Energía**						
	Tipo de alimentación						
	Tipo de baterías						
	Tiempo continuo de uso						
	Tiempo de recarga						
	Protección contra sobrecarga						
	Peso de batería						
Peso del instrumento		5	20	?	?	kg.	
Ambiente de trabajo		-20°c a +50°C	por definir	-20°c a +50°C			
Temperatura de almacenamiento		-40°c a +70°C					
Resistencia a suciedad y agua		IP54	?	IP54	?		NORMA: IEC60529
Humedad		max. 95% no condensada	?	max. 95% no condensada	?		

ANEXO 2 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Estimación del consumo de energía

Fecha: 04-Feb-02

Proyecto: Temohuani 2

Cantidad Elementos	Aplicación	Modulo	Potencia Unitaria [Watt]	Potencia [Watt]	Tiempo de uso en un dia [hrs.]	Consumo por día [W*Hr]
1	PC Escritorio	Control	200	200	16	3200
1	Radio modem	Comunicación	1.44	1.44	24	34.56
1	Ventana automática	Accesorios	300	300	0.35	105
2	Servomotores	Robot	160	320	3	960
1	EDM	Equipo Medición	9	9	12	108
					TOTAL	4407.56

Generadores de energía

Cantidad Elementos	Descripción	# Modelo	Potencia unitaria Generada por dia [W*Hr]	Potencia generada por dia [Watt*hr]	Precio Unitario	Costo
1	Small cabin 12VDC solar kit		1000	1000	1409	1409
	Southwest Windpower 400W					
1	Wind Turbine 12V, for	AIR 403	400	400	535	535

ANEXO 3 CÁLCULOS

Requerimientos del rastreo

DISPERSIÓN DEL LASER

1er Experimento

Utilizando el EDM Red2L y un prisma de 0.07 m de diámetro se obtuvo una apertura angular dentro de la cual se tenía "señal suficiente para medir". Del experimento anterior se deduce que e láser proyectado sobre el volcán a una distancia de 3000 m tiene un diámetro aproximado de 0.70 m, lo que resulta en un ángulo de 0.013 °.

$L := 3000 \cdot m$

$d1 := 0.70 \cdot m$

$\theta laser1 := \operatorname{atan}\left(\frac{d1}{L}\right)$

$\theta laser1 = 0.013 deg$

Cálculo con datos de Leica DI300S

$\theta laser2 := 0.75 \cdot 10^{-3}$

$\theta laser2 = 0.043 deg$

$d2 := L \cdot \tan(\theta laser2)$

$d2 = 2.25 m$

Especificaciones Temohuani I

El Temohuani I tiene una resulución de 0.0125 ° lo que resulta en que un paso de movimiento del sistema equivale a 0.65 m desplazados en el volcán.

$\theta T1 := 0.0125 deg$

$dT1 := L \cdot \tan(\theta T1)$

$dT1 = 0.654 m$

El Temohuani I tiene los siguientes parámetros:

Resolución R: $R := \theta T1$

$R = 0.013 deg$

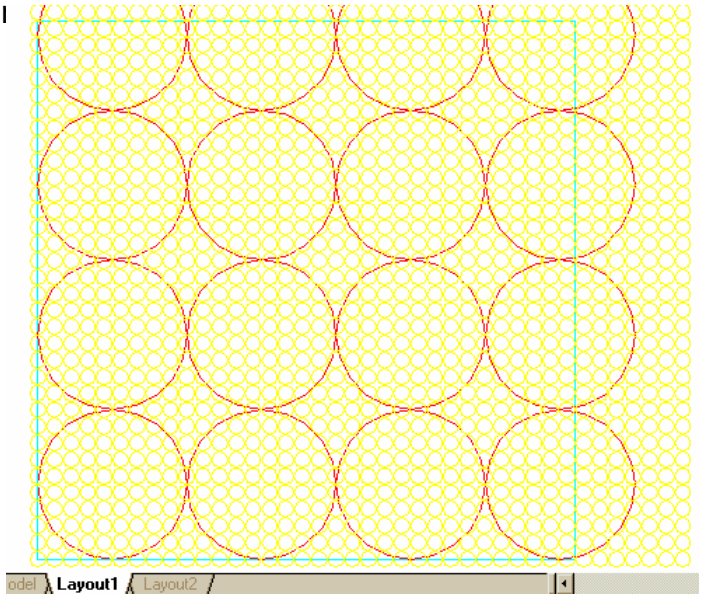
La repetibilidad desde el origen Rp (+ -):

$Rp := 2 \cdot R$

$Rp = 0.025 deg$

Precisión P (+ -) $P := 0.045 \cdot deg$

En la figura se muestra un arreglo de prismas de 7 cm, un arreglo de circunferencias de 65 cm y un rectangulo equivalente a una cuenta de encoder



El Temohuani I tiene la capacidad de encontrar señal suficiente para medir en un rango de desplazamiento de hasta 2 pasos, es decir una apertura angular de 0.025 ° o una circunferencia de 1.3 m a 3000 m.

Lo que indica que en el experimento 1 la apertura angular para obtener "señal suficiente" debería ser mayor o podría ser la misma apertura pero para una mayor intensidad de señal.

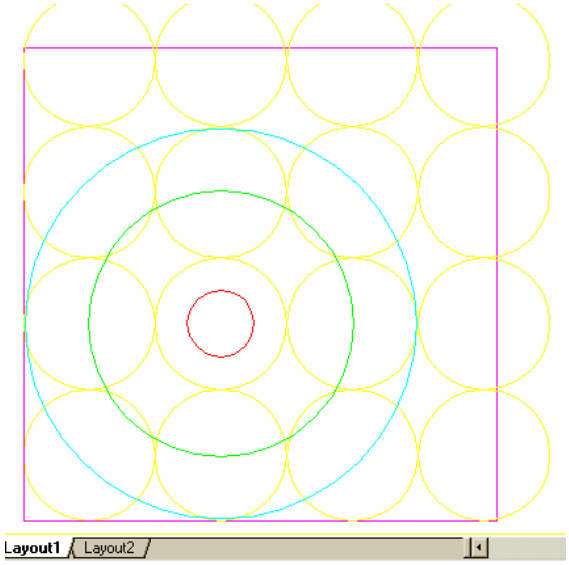
Con base en lo anterior se estable la siguiente escala de intensidad de señal:

1.- Mínima, indica si el prisma esta cerca pero no se puede medir.
2.- Suficiente para medir
3.- Buena Señal
4.- Máxima

Y se asocia la intensidad con la apertura angular y el número de pasos.:

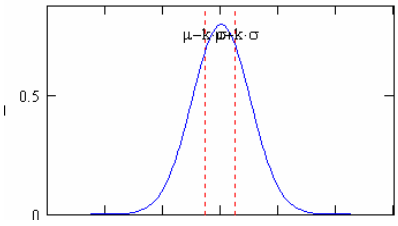
Señal	AperturaAngular	Pasos Temohuani I	Proyectado a 3000m
1 Mínima	0.0369°	3	1.93 m
2 Suficiente	0.025°	2	1.31 m
3 Buena	0.0125°	1	0.65 m
4 Máxima	0.00625 °	0.5	0.33 m

En la figura se muestran las circunferencias de las diferentes intensidades de señal.

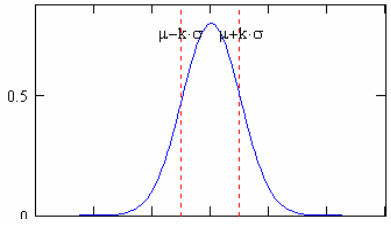


Suponiendo que el perfil de intensidad de señal se asemeja a una distribución normal o gaussiana se corrobora lo obtenido con la experiencia del Temohuani I.

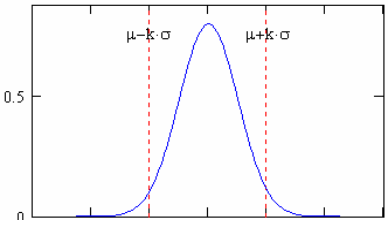
0.5 pasos: señal máxima



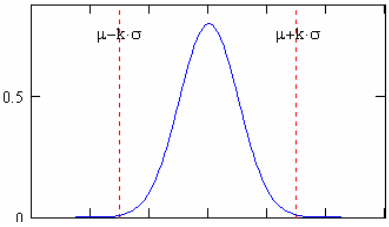
1 paso: señal buena



2 pasos: señal suficiente



3 pasos: señal mínima



MEDICIONES MÁS PRECISAS

Para mediciones mas precisas será necesario mover al EDM hasta obtener la máxima intensidad de señal de retorno. Para conseguirlo se consideran los siguientes parámetros:

La repetibilidad debe ser menor o igual a 0.5 pasos, es decir Rp <= 0.00625°

La resolución debe ser menor o igual a la repetibilidad R <= Rp.

Para la Precisión se tienen dos casos posibles:

Precisión	Desempeño
P <= Rp	Posicionamiento inmediato en intensidad máxima
P = n Rp	Requiere rastreo y mapeo de n ^ 2 pasos

ANEXO 4 CÓDIGO PARA ANÁLISIS DE DATOS

Se presenta una fracción del código generado para el análisis de los datos obtenidos por el sistema Temohuani 1. El capìtulo 4 explica cada sección.

Consulta de la base de datos access

Una sección es un conjunto de datos comprendidos en un intervalo de tiempo que cumplen con condiciones de medición similares

Sección	Inicio	Fin
1.-	06 de noviembre de 1999 a 01 de agosto de 2000	
2a.-	02 de agosto de 2000 a 01 agosto 2001	
2.-	02 de agosto 2001 a 24 enero 2003	
3a.-	28 enero 2003 a 12 feb 2003	
3.-	13 febrero 2003 hasta final	

BUSQUEDA EN BASE DE DATOS

DatosCanario :=

DatosTexcalco :=

DatosMeseta :=

Datos3amigos :=

NOTA:

Para realizar una busqueda utilizar el botón derecho del ratón, abrir el origen de datos **ODBC** de cada punto y cambiar la instrucción SQL:

Ejemplo instrucción SQL:
Fecha between datevalue('1/12/2002') and datevalue('1/01/2003')

Ejemplo instrucción SQL Para gráficar un día:
Fecha between datevalue('1/12/2002') and datevalue('1/12/2002')

NOTA2: Para dar de alta la base de datos en Windows XP ir a [Panel de control], [Herramientas administrativas] [Origenes de datos] [DSN de usuario] <AGREGAR> [Microsoft Access Driver *.mdb] <FINALIZAR> <en nombre escribir: "BaseDatosTemohuaniTlamacas"> <SELECCIONAR (ubicación del archivo)> ....

Archivo: Consulta AccSecc i.mcd, página 1 de 1

Procesado preliminar separando, ordenando y filtrando errores de adquisición sobre base de datos original

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec3\ConsultaACCSec3.mcd(R)

PREPARACIÓN DEL FORMATO

OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE REGISTROS POR PRISMA

ElementosCanario := rows(DatosCanario)

ElementosCanario = 703901

ElementosTexcalco := rows(DatosTexcalco)

ElementosTexcalco = 14521

ElementosMeseta := rows(DatosMeseta)

ElementosMeseta = 12271

Elementos3amigos := rows(Datos3amigos)

Elementos3amigos = 12176

Ordena respecto al Tiempo (quinta columna de la matriz de datos)

DatosCanario := csort(DatosCanario,5)

DatosTexcalco := csort(DatosTexcalco,5)

DatosMeseta := csort(DatosMeseta,5)

Datos3amigos := csort(Datos3amigos,5)

DatosCanario =

	0	1	2	3
0	0	37665	0.09112	2887893
1	0	37665	0.09119	2887891
2	0	37665	0.09125	2887897
3	0	37665	0.09132	2887892
4	0	37665	0.09139	2887894
5	0	37665	0.09145	2887894
6	0	37665	0.09152	2887896
7	0	37665	0.09159	2887892
8	0	37665	0.09164	2887897
9	0	37665	0.09171	2887893
10	0	37665	0.09178	2887890
11	0	37665	0.09184	2887896
12	0	37665	0.09191	2887897
13	0	37665	0.09198	2887888
14	0	37665	0.09206	2887891
15	0	37665	0.09215	2887885

OBTENCIÓN MÁXIMO NÚMERO DE ELEMENTOS DEL CONJUNTO DE PRISMAs

maxnumelem := max(ElementosCanario,ElementosTexcalco,ElementosMeseta,Elementos3amigos)

maxnumelem = 7.039×10^5

n := 0.. maxnumelem

SEPARACIÓN DE LA MATRIZ

Se asignan los datos de cada campo a diferentes matrices

TiempoCanario := $DatosCanario^{\langle 5 \rangle}$

TiempoTexcalco := $DatosTexcalco^{\langle 5 \rangle}$

TiempoMeseta := $DatosMeseta^{\langle 5 \rangle}$

Tiempo3amigos := $Datos3amigos^{\langle 5 \rangle}$

DistanciaCanario := $DatosCanario^{\langle 3 \rangle}$

DistanciaTexcalco := $DatosTexcalco^{\langle 3 \rangle}$

DistanciaMeseta := $DatosMeseta^{\langle 3 \rangle}$

DistanciaAmigos := DatosAmigos

TemperaturaCanario := $DatosCanario^{\langle 4 \rangle}$

TemperaturaTexcalco := $DatosTexcalco^{\langle 4 \rangle}$

TemperaturaMeseta := $DatosMeseta^{\langle 4 \rangle}$

Temperatura3amigos := $Datos3amigos^{\langle 4 \rangle}$

Interpretación de la fecha inicial (para etiquetas)

Utiliza página de Excel para interpretar la fecha juliana

CANARIO

$$\begin{pmatrix} DíaICan \\ MesICan \\ AñoICan \end{pmatrix} := \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 37665.00 & 13 & 2 & 2003 \\ \hline \end{array}$$

$$trunc(TiempoCanario_1)$$

DíaICan := num2str(DíaICan)

MesICan := num2str(MesICan)

AñoICan := num2str(AñoICan)

FechaICan := concat(DíaICan,"-" ,MesICan,"-" ,AñoICan)

FechaICan = "13-2-2003"

TEXCALCO

$$\begin{pmatrix} DíaITex \\ MesITex \\ AñoITex \end{pmatrix} := \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 37665.00 & 13 & 2 & 2003 \\ \hline \end{array}$$

$$trunc(TiempoTexcalco_1)$$

DíaITex := num2str(DíaITex)

MesITex := num2str(MesITex)

AñoITex := num2str(AñoITex)

FechaITex := concat(DíaITex,"-" ,MesITex,"-" ,AñoITex)

FechaITex = "13-2-2003"

MESETA

$$\begin{pmatrix} DíaIMes \\ MesIMes \\ AñoIMes \end{pmatrix} := \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 37665.00 & 13 & 2 & 2003 \\ \hline \end{array}$$

$$trunc(TiempoMeseta_1)$$

DíaIMes := num2str(DíaIMes)
MesIMes := num2str(MesIMes)
AñoIMes := num2str(AñoIMes)

FechaIMes := concat(DíaIMes,"-" ,MesIMes,"-" ,AñoIMes)

FechaIMes = "13-2-2003"

3 AMIGOS

$$\begin{pmatrix} DíaI3am \\ MesI3am \\ AñoI3am \end{pmatrix} := \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 37955.00 & 30 & 11 & 2003 \\ \hline \end{array}$$

$$trunc(Tiempo3amigos_1)$$

DíaI3am := num2str(DíaI3am)
MesI3am := num2str(MesI3am)
AñoI3am := num2str(AñoI3am)

FechaI3am := concat(DíaI3am, "-" , MesI3am, "-" , AñoI3am)

FechaIMes = "13-2-2003"

TiempoCanario =

	0
0	37665.042974537
1	37665.0430439815
2	37665.0431134259
3	37665.0431712963
4	37665.0432407407
5	37665.0433101852
6	37665.0433680556
7	37665.0434375
8	37665.0435069444
9	37665.0435648148
10	37665.0436342593
11	37665.0437037037
12	37665.0437615741
13	37665.0438310185
14	37665.043900463
15	37665.0439583333

CORRECCIÓN DE HORARIO GMT Y HORARIO DE VERANO

El filtro remplaza con el valor corregido los datos que no cumplen la función de condición.

Funciónes de Corrección:

$$DiferencialNV := \frac{6}{24}$$

DiferencialNV = 0.25

$$DiferenciaVER := \frac{5}{24}$$

DiferenciaVER = 0.208

```
CorreccionINV(T, c) := | i ← 0
                       | U ← 0
                       | for j ∈ 0.. rows(T) − 1
                       |   if c(T_j) = 1
                       |     U_j ← T_j + DiferencialNV
                       |     i ← i + 1
                       |   U_j ← T_j  otherwise
                       | U
```

```
CorreccionVER(T, c) := | i ← 0
                       | U ← 0
                       | for j ∈ 0.. rows(T) − 1
                       |   if c(T_j) = 1
                       |     U_j ← T_j + DiferenciaVER
                       |     i ← i + 1
                       |   U_j ← T_j  otherwise
                       | U
```

Condiciones de corrección
Canario:

$c(x) := (x \geq 36400) \cdot (x < 36618.08333)$

$TiempoCanario_1 = 37665.0430439815$

$TiempoCanario := CorreccionINV(TiempoCanario, c)$

$TiempoCanario_1 = 37665.0430439815$

$c(x) := (x \geq 36618.08333) \cdot (x < 36829.08333)$

$TiempoCanario := CorreccionVER(TiempoCanario, c)$

$c(x) := (x \geq 36629.08333) \cdot (x < 37017.08333)$

$TiempoCanario := CorreccionINV(TiempoCanario, c)$

$c(x) := (x \geq 37017.08333) \cdot (x < 37164.08333)$

$TiempoCanario := CorreccionVER(TiempoCanario, c)$

$c(x) := (x \geq 37164.08333) \cdot (x < 37334.77569)$

$TiempoCanario := CorreccionINV(TiempoCanario, c)$

Condiciones de corrección
Texcalco:

$c(x) := (x \geq 36400) \cdot (x < 36618.08333)$

$TiempoTexcalco_1 = 37665.0234837963$

$TiempoTexcalco := CorreccionINV(TiempoTexcalco, c)$

$TiempoTexcalco_1 = 37665.0234837963$

$c(x) := (x \geq 36618.08333) \cdot (x < 36829.08333)$

$TiempoTexcalco := CorreccionVER(TiempoTexcalco, c)$

$c(x) := (x \geq 36629.08333) \cdot (x < 37017.08333)$

$TiempoTexcalco := CorreccionINV(TiempoTexcalco, c)$

$c(x) := (x \geq 37017.08333) \cdot (x < 37164.08333)$

$TiempoTexcalco := CorreccionVER(TiempoTexcalco, c)$

$c(x) := (x \geq 37164.08333) \cdot (x < 37334.77569)$

$TiempoTexcalco := CorreccionINV(TiempoTexcalco, c)$

Condiciones de corrección
Meseta:

$c(x) := (x \geq 36400) \cdot (x < 36618.08333)$

$TiempoMeseta_1 = 37665.0718634259$

$TiempoMeseta := CorreccionINV(TiempoMeseta, c)$

$TiempoMeseta_1 = 37665.0718634259$

$c(x) := (x \geq 36618.08333) \cdot (x < 36829.08333)$

$TiempoMeseta := CorreccionVER(TiempoMeseta, c)$

$c(x) := (x \geq 36629.08333) \cdot (x < 37017.08333)$

$TiempoMeseta := CorreccionINV(TiempoMeseta, c)$

$c(x) := (x \geq 37017.08333) \cdot (x < 37164.08333)$

$TiempoMeseta := CorreccionVER(TiempoMeseta, c)$

$c(x) := (x \geq 37164.08333) \cdot (x < 37334.77569)$

TiempoMeseta := CorreccionINV(TiempoMeseta, c)

Condiciones de corrección
3amigos:

c(x) := (x ≥ 36400)·(x < 36618.08333)

$Tiempo3amigos_1 = 37955.8986226852$

Tiempo3amigos := CorreccionINV(Tiempo3amigos, c)

$Tiempo3amigos_1 = 37955.8986226852$

c(x) := (x ≥ 36618.08333)·(x < 36829.08333)

Tiempo3amigos := CorreccionVER(Tiempo3amigos, c)

c(x) := (x ≥ 36629.08333)·(x < 37017.08333)

Tiempo3amigos := CorreccionINV(Tiempo3amigos, c)

c(x) := (x ≥ 37017.08333)·(x < 37164.08333)

Tiempo3amigos := CorreccionVER(Tiempo3amigos, c)

c(x) := (x ≥ 37164.08333)·(x < 37334.77569)

Tiempo3amigos := CorreccionINV(Tiempo3amigos, c)

TRANSFORMACION DE FECHAS A DIAS JULIANOS
CONSECUTIVOS DESDE EL
1 DE ENERO DE 1999 = Dia Juliano Consecutivo 1

TiempoCanario =

	0
0	37665.042974537
1	37665.0430439815
2	37665.0431134259
3	37665.0431712963
4	37665.0432407407
5	37665.0433101852
6	37665.0433680556
7	37665.0434375
8	37665.0435069444
9	37665.0435648148
10	37665.0436342593
11	37665.0437037037
12	37665.0437615741
13	37665.0438310185
14	37665.043900463
15	37665.0439583333

TiempoCanario := TiempoCanario − 36160

TiempoTexcalco := TiempoTexcalco − 36160

TiempoMeseta := TiempoMeseta − 36160

Tiempo3amigos := Tiempo3amigos − 36160

	0
0	1505.042974537
1	1505.0430439815
2	1505.0431134259
3	1505.0431712963
4	1505.0432407407
5	1505.0433101852
6	1505.0433680556

Dias contados
a partir del 1 de
enero de 1999

TiempoCanario =

7	1505.0434375
8	1505.0435069444
9	1505.0435648148
10	1505.0436342593
11	1505.0437037037
12	1505.0437615741
13	1505.0438310185
14	1505.043900463
15	1505.0439583333

Filtro de Distancias mayores o menores al límite

Utilizando las medianas se filtran los valores menores o mayores a la mediana + o - "límite".

MediaDcanario := median(DistanciaCanario)

MediaDcanario = 2887932

MediaDtexcalco := median(DistanciaTexcalco)

MediaDtexcalco = 2780510

MediaDmeseta := median(DistanciaMeseta)

MediaDmeseta = 2953132

MediaD3amigos := median(Distancia3amigos)

MediaD3amigos = 3048440

El filtro remplaza con la mediana los datos que no cumplen la función de condición.

Funciónes de Remplazo:

RemplazaCan(D, c) :=
- i ← 0
- U ← 0
- for j ∈ 0.. rows(DistanciaCanario) − 1
  - if c(DistanciaCanario_j) = 1
    - U_j ← D_j
    - i ← i + 1
  - U_j ← MediaDcanario otherwise
- U

RemplazaTex(D, c) :=
- i ← 0
- U ← 0
- for j ∈ 0.. rows(DistanciaTexcalco) − 1
  - if c(DistanciaTexcalco_j) = 1
    - U_j ← D_j
    - i ← i + 1
  - U_j ← MediaDtexcalco otherwise
- U

RemplazaMes(D, c) :=
- i ← 0
- U ← 0
- for j ∈ 0.. rows(DistanciaMeseta) − 1
  - if c(DistanciaMeseta_j) = 1
    - U_j ← D_j
    - i ← i + 1
  - U_j ← MediaDmeseta otherwise
- U

```
Remplaza3am(D,c) := | i ← 0
                    | U ← 0
                    | for j ∈ 0.. rows(Distancia3amigos) − 1
                    |   if c(Distancia3amigos_j) = 1
                    |     U_j ← D_j
                    |     i ← i + 1
                    |   U_j ← MediaD3amigos  otherwise
                    | U
```

Limite = 1000 las unidades son milímetros.

Condiciones de remplazo Canario:

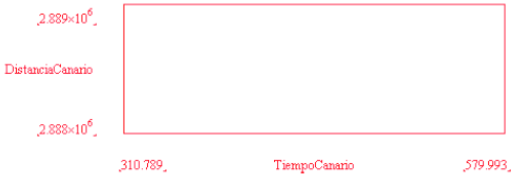
c(x) := [x ≥ (MediaDcanario − Limite)]·[x ≤ (MediaDcanario + Limite)]

DistanciaCanario y TiempoCanario contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

DistanciaCanario := RemplazaCan(DistanciaCanario, c)

ElementosCanario := rows(DistanciaCanario)

ElementosCanario = 703901



Condiciones de remplazo Texcalco:

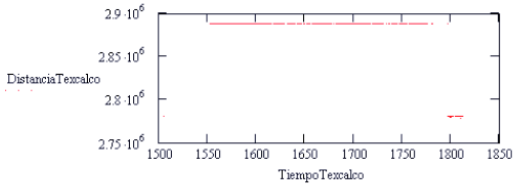
c(x) := (x ≥ MediaDtexcalco − Limite)·[x ≤ (MediaDtexcalco + Limite)]

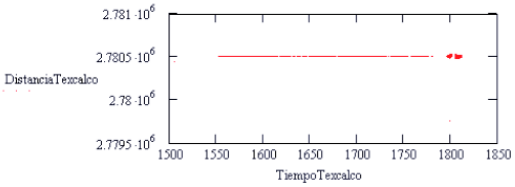
DistanciaTexcalco y TiempoTexcalco contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

DistanciaTexcalco := RemplazaTex(DistanciaTexcalco, c)

ElementosTexcalco := rows(DistanciaTexcalco)

ElementosTexcalco = 14521

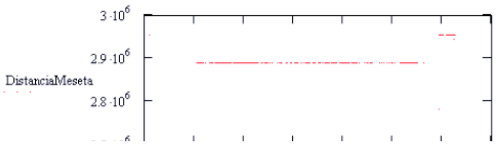




Condiciones de Remplazo Meseta:

c(x) := [x ≥ (MediaDmeseta − Limite)]·[x ≤ (MediaDmeseta + Limite)]

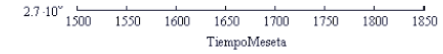
DistanciaMeseta y TiempoMeseta contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

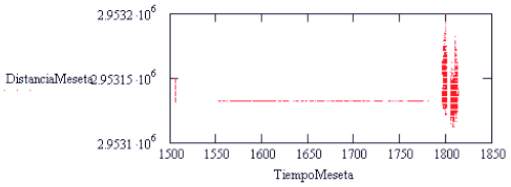


DistanciaMeseta := RemplazaMes(DistanciaMeseta, c)

ElementosMeseta := rows(DistanciaMeseta)

ElementosMeseta = 12271





Condiciones de Remplazo 3amigos:

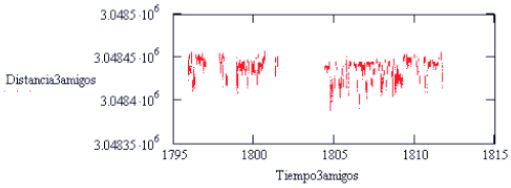
c(x) := [x ≥ (MediaD3amigos − Limite)]·[x ≤ (MediaD3amigos + Limite)]

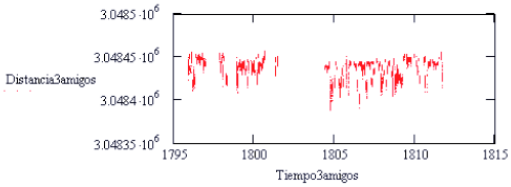
Distancia3amigos y Tiempo3amigos contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

Distancia3amigos := Remplaza3am(Distancia3amigos, c)

Elementos3amigos := rows(Tiempo3amigos)

Elementos3amigos = 12176





FILTRO DE REGISTROS REPETIDOS

Filtro de registros REPETIDOS en Canario :

ExtraerCan2(D) :=
- i ← 0
- U ← 0
- for j ∈ 0.. rows(TiempoCanario) − 2
  - if (TiempoCanario_{j+1} ≠ TiempoCanario_j)
    - U_i ← D_j
    - i ← i + 1
- U

Distancia Canario y TiempoCanario contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

DistanciaCanario := ExtraerCan2(DistanciaCanario)

TiempoCanario := ExtraerCan2(TiempoCanario)

ElementosCanario := rows(TiempoCanario)

ElementosCanario = 703900

Filtro de registros REPETIDOS en Texcalco :

```
ExtraerTex2(D) := | i ← 0
                  | U ← 0
                  | for j ∈ 0..rows(TiempoTexcalco) − 2
                  |   if (TiempoTexcalco_{j+1} ≠ TiempoTexcalco_j)
                  |     U_i ← D_j
                  |     i ← i + 1
                  | U
```

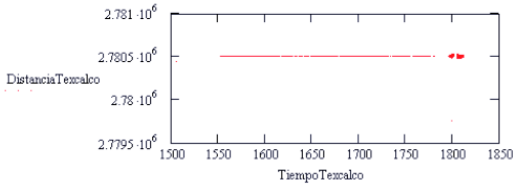
DistanciaTexcalco y TiempoTexcalco contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

DistanciaTexcalco := ExtraerTex2(DistanciaTexcalco)

TiempoTexcalco := ExtraerTex2(TiempoTexcalco)

ElementosTexcalco := rows(TiempoTexcalco)

ElementosTexcalco = 12204



Filtro de registros REPETIDOS en Meseta :

```
ExtraerMes2(D) := | i ← 0
                  | U ← 0
                  | for j ∈ 0..rows(TiempoMeseta) − 2
                  |   if (TiempoMeseta_{j+1} ≠ TiempoMeseta_j)
                  |     U_i ← D_j
                  |     i ← i + 1
                  | U
```

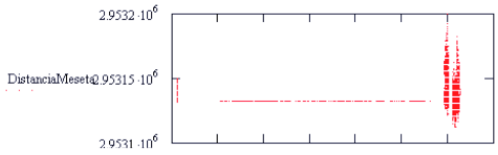
DistanciaMeseta y TiempoMeseta contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

DistanciaMeseta := ExtraerMes2(DistanciaMeseta)

TiempoMeseta := ExtraerMes2(TiempoMeseta)

ElementosMeseta := rows(TiempoMeseta)

ElementosMeseta = 10160



Filtro de registros REPETIDOS en 3amigos :

```
Extraer3am2(D) := | i ← 0
                  | U ← 0
                  | for j ∈ 0.. rows(Tiempo3amigos) − 2
                  |   if (Tiempo3amigos_(j+1) ≠ Tiempo3amigos_j)
                  |     | U_i ← D_j
                  |     | i ← i + 1
                  | U
```

Distancia3amigos y Tiempo3amigos contienen los elementos de Distancia y Tiempo que cumplen con la condición c:

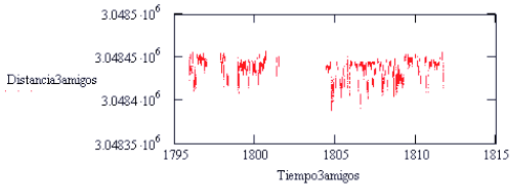
Distancia3amigos := Extraer3am2(Distancia3amigos)

Tiempo3amigos := Extraer3am2(Tiempo3amigos)

Temperatura3amigos := Extraer3am2(Temperatura3amigos)

Elementos3amigos := rows(Tiempo3amigos)

Elementos3amigos = 9921



SE CREAN MATRICES DISTINTAS PARA DISTANCIAS Y PARA TEMPERATURA

Se unen los diferentes vectores para formar de nuevo la matriz y poder ordenar los renglones

ElementosCanario := rows(TiempoCanario)

ElementosCanario = 703900

ElementosTexcalco := rows(TiempoTexcalco)

ElementosTexcalco = 12204

ElementosMeseta := rows(TiempoMeseta)

ElementosMeseta = 10160

Elementos3amigos := rows(Tiempo3amigos)

Elementos3amigos = 9921

Union de matrices para Canario

n := 0.. ElementosCanario − 1

Tiempos y distancias para canario

DatosCanario2_(n,0) := TiempoCanario_n

DatosCanario2_(n,1) := DistanciaCanario_n

Tiempos y temperaturas para canario

TemperaturaCanario2_(n,0) := TiempoCanario_n

TemperaturaCanario2_(n,1) := TemperaturaCanario_n

Ordena matrices canario

DatosCanario2 := csort(DatosCanario2,0)

TemperaturaCanario2 := csort(TemperaturaCanario2,0)

Union de matrices para texcalco

n := 0.. ElementosTexcalco − 1

Tiempos y distancias para texcalco

$DatosTexcalco2_{n,0} := TiempoTexcalco_n$

$DatosTexcalco2_{n,1} := DistanciaTexcalco_n$

Tiempos y temperaturas para texcalco

$TemperaturaTexcalco2_{n,0} := TiempoTexcalco_n$

$TemperaturaTexcalco2_{n,1} := TemperaturaTexcalco_n$

Ordena matrices texcalco

DatosTexcalco2 := csort(DatosTexcalco2,0)

TemperaturaTexcalco2 := csort(TemperaturaTexcalco2,0)

Union de matrices para meseta

n := 0.. ElementosMeseta − 1

Tiempos y distancias para meseta

$DatosMeseta2_{n,0} := TiempoMeseta_n$

$DatosMeseta2_{n,1} := DistanciaMeseta_n$

Tiempos y temperaturas para meseta

$TemperaturaMeseta2_{n,0} := TemperaturaMeseta_n$

$TemperaturaMeseta2_{n,1} := TemperaturaMeseta_n$

Ordena matrices meseta

DatosMeseta2 := csort(DatosMeseta2,0)

TemperaturaMeseta2 := csort(TemperaturaMeseta2,0)

Union de matrices para 3amigos

n := 0.. Elementos3amigos − 1

Tiempos y distancias para 3amigos

$Datos3amigos2_{n,0} := Tiempo3amigos_n$

$Datos3amigos2_{n,1} := Distancia3amigos_n$

Tiempos y temperaturas para 3amigos

$Temperatura3amigos2_{n,0} := Temperatura3amigos_n$

$Temperatura3amigos2_{n,1} := Temperatura3amigos_n$

Ordena matrices 3 amigos

Datos3amigos2 := csort(Datos3amigos2,0)

Temperatura3amigos2 := csort(Temperatura3amigos2,0)

maxnumelem := max(ElementosCanario,ElementosTexcalco,ElementosMeseta,Elementos3amigos)

$maxnumelem = 7.039 \times 10^5$

n := 0.. maxnumelem

Cambio de nombre de matriz

Matriz de tiempos y distancias

DatosCanario := DatosCanario2

Datos1excalco := Datos1excalco2

DatosMeseta := DatosMeseta2

Datos3amigos := Datos3amigos2

Matriz de tiempos y temperaturas

TemperaturaCanario := TemperaturaCanario2

TemperaturaTexcalco := TemperaturaTexcalco2

TemperaturaMeseta := TemperaturaMeseta2

Temperatura3amigos := Temperatura3amigos2

DatosCanario =

	0	1
0	1505.04297	2887913
1	1505.04304	2887914
2	1505.04311	2887912
3	1505.04317	2887912
4	1505.04324	2887912
5	1505.04331	2887911
6	1505.04337	2887914
7	1505.04344	2887912
8	1505.04351	2887913
9	1505.04356	2887912
10	1505.04363	2887913
11	1505.0437	2887910
12	1505.04376	2887911
13	1505.04383	2887910
14	1505.0439	2887910
15	1505.04396	2887911

TemperaturaCanario =

	0	1
0	1505.04297	10
1	1505.04304	10
2	1505.04311	10
3	1505.04317	10
4	1505.04324	10
5	1505.04331	10
6	1505.04337	10
7	1505.04344	10
8	1505.04351	10
9	1505.04356	10
10	1505.04363	10
11	1505.0437	10
12	1505.04376	10
13	1505.04383	10
14	1505.0439	10
15	1505.04396	10

SE PREPARA EL ENLACE DE SALIDA CON OTRO MÓDULO

ENLACE CON OTRAS PÁGINAS DE MATHCAD

Se crean matrices de cada campo de datos

$TiempoCanario := DatosCanario^{\langle 0 \rangle}$

$TiempoTexcalco := DatosTexcalco^{\langle 0 \rangle}$

$TiempoMeseta := DatosMeseta^{\langle 0 \rangle}$

$DistanciaCanario := DatosCanario^{\langle 1 \rangle}$

$DistanciaTexcalco := DatosTexcalco^{\langle 1 \rangle}$

$DistanciaMeseta := DatosMeseta^{\langle 1 \rangle}$

Eliminación de datos espurios

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

DatosCanario =

	0	1
0	310.788576	2888019
1	310.788715	2888018
2	310.788785	2888005
3	310.788854	2888016
4	310.788958	2888016
5	310.789028	2888021
6	310.790613	2888016
7	310.790741	2888018
8	310.79081	2888016

DistanciaCanario

Rutina para clasificación de mediciones

SeleccionCan(D, c) :=
- i ← 0
- U ← 0
- for j ∈ 1.. rows(TiempoCanario) − 1
  - if c(TiempoCanario_j − TiempoCanario_{j−1}) = 1
    - i ← i + 1
    - U_j ← i
  - U_j ← i otherwise
- U

Duracion = 0.001389

Es fraccion de día.

Condicion de clasificación de grupos de mediciones para Canario:

c(x) := (x ≥ Duracion)

MedicionesCan := SeleccionCan(TiempoCanario, c)

ElementosCanario := rows(TiempoCanario) ElementosMedicionesCan := rows(MedicionesCan)

ElementosCanario = 6683 ElementosMedicionesCan = 6683

MedicionesCan =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1

Rutina para obtener desviaciones esándar de cada medición (conjunto de datos)

```
DesvSTDCan(D) := | i ← 0
                 | U ← 0
                 | Temp ← 0
                 | k ← 0
                 | for j ∈ 0.. rows(TiempoCanario) − 1
                 |   if (MedicionesCan_j = i)
                 |     Temp_k ← DistanciaCanario_j
                 |     k ← k + 1
                 |   otherwise
                 |     U_i ← Stdev(Temp)
                 |     i ← i + 1
                 |     k ← 1
                 |     Temp ← 0
                 |     Temp_0 ← DistanciaCanario_j
                 | U_i ← Stdev(Temp)
                 | U
```

DSCan := DesvSTDCan(DistanciaCanario)

ElementosCanario := rows(DistanciaCanario) ElementosSTDDEVCan := rows(DSCan)

ElementosCanario = 6683 ElementosSTDDEVCan = 915

DSCan =

	0
0	5.63619
1	3.43511
2	0
3	10.2632
4	7.4293
5	3.64692
6	2.48998
7	5.84808
8	6.75771
9	5.50757

10	0.54772
11	1.30384
12	1.48324
13	2.06155
14	0.89443
15	1.22474

Rutina para obtener medias (promedio) de cada medición (conjunto de datos)

```
PromedioCan(D) := | i ← 0
                  | U ← 0
                  | Temp ← 0
                  | k ← 0
                  | for j ∈ 0..rows(TiempoCanario) − 1
                  |   if (MedicionesCan_j = i)
                  |     Temp_k ← DistanciaCanario_j
                  |     k ← k + 1
                  |   otherwise
                  |     U_i ← mean(Temp)
                  |     i ← i + 1
                  |     k ← 1
                  |     Temp ← 0
                  |     Temp_0 ← DistanciaCanario_j
                  | U_i ← mean(Temp)
                  | U
```

MedicionesCan =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
11	1
12	1
13	1
14	1
15	1

DistanciaCanario =

	0
0	2888019
1	2888018
2	2888005
3	2888016
4	2888016
5	2888021
6	2888016
7	2888018
8	2888016
9	2888018
10	2888010
11	2888019
12	2888021
13	2888012
14	2888019
15	2888021

PromedioCan := PromedioCan(DistanciaCanario)

ElementosCanario := rows(DistanciaCanario) ElementosPromedioCan := rows(PromedioCan)

ElementosCanario = 6683 ElementosPromedioCan = 915

PromedioCan =

	0
0	2888015.83333
1	2888017
2	2888023
3	2888020.33333
4	2888016.152
5	2888016.6
6	2888018.8
7	2888013.8
8	2888018.5
9	2888016.33333
10	2888013.4
11	2888014.8
12	2888015.8
13	2888018.25
14	2888009.6
15	2888011

Rutina para eliminar si es mayor o igual a dos
desviaciones estándar de la medición.

N = 1.96
N = Numero de desviaciones estandar. 1=68.27%, 1.28=80%,1.645=90%, 1.96=95%, 2=95.45%, 2.05=96%, 2.33=98%, 2.58=99%, 3=99.73% (porciento de datos buenos que se están considerando)

PromedioSeccion := mean(DistanciaCanario)

PromedioSeccion = 2888014.094

SDSeccion := Stdev(DistanciaCanario)

SDSeccion = 13.711

Funciónes de Extracción:

$$\text{ExtraerCan}(D) := \left| \begin{array}{l} i \leftarrow 0 \\ U \leftarrow 0 \\ k \leftarrow 0 \\ c \leftarrow 1 \\ m \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..(\text{ElementosCanario} - 1) \\ \quad k \leftarrow \text{MedicionesCan}_j \\ \quad m \leftarrow \text{MedicionesCan}_{j+1} \text{ if } j + 1 < \text{ElementosCanario} \\ \quad c \leftarrow c + 1 \text{ if } m = k \\ \quad \text{if } \left|\text{DistanciaCanario}_j - \text{PromedioCan}_k\right| \le N \cdot \text{DSCan}_k \wedge c > 1 \\ \quad\quad U_i \leftarrow D_j \\ \quad\quad i \leftarrow i + 1 \\ \quad \text{if } c = 1 \wedge \left|\text{DistanciaCanario}_j - \text{PromedioSeccion}\right| \le \text{SDSeccion} \\ \quad\quad U_i \leftarrow D_j \\ \quad\quad i \leftarrow i + 1 \\ \quad c \leftarrow 1 \text{ if } m \ne k \\ U \end{array} \right.$$

ElementosTCanario := rows(TiempoCanario)

ElementosTCanario = 6683

ElementosCanario = 6683

ELIMINA LOS ELEMENTOS QUE NO CUMPLEN LA CONDICIÓN

DistanciaCanario1 := ExtraerCan(DistanciaCanario)

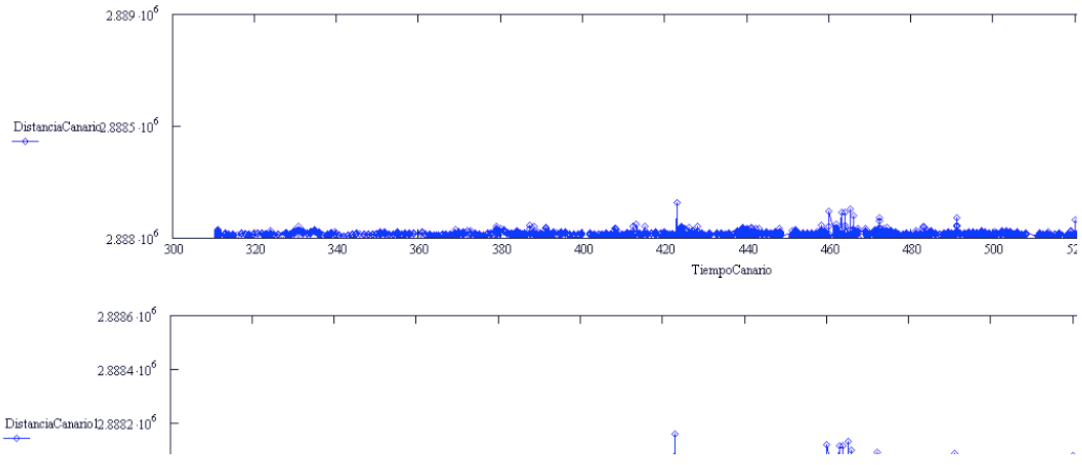
TiempoCanario1 := ExtraerCan(TiempoCanario)

ElementosCanario := rows(DistanciaCanario1)

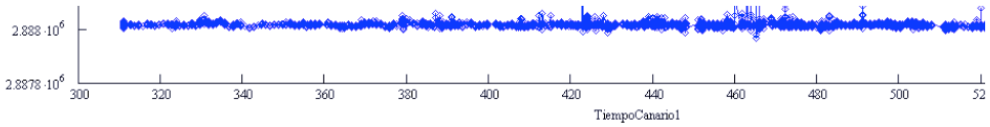
ElementosTCanario := rows(TiempoCanario1)

ElementosCanario = 6541

ElementosTCanario = 6541



Archivo: EspuriosSec i página 4 de 5



TiempoCanario1 =

	0
0	310.788576
1	310.788715
2	310.788785
3	310.788854
4	310.788958
5	310.789028
6	310.790613
7	310.790741
8	310.79081
9	310.79088
10	310.791019
11	310.792234
12	310.792431
13	310.792535
14	310.792604
15	310.792697

DistanciaCanario1 =

	0
0	2888019
1	2888018
2	2888005
3	2888016
4	2888016
5	2888021
6	2888016
7	2888018
8	2888016
9	2888018
10	2888019
11	2888021
12	2888012
13	2888019
14	2888021
15	2888017

Archivo: EspuriosSec i página 5 de 5

Ajuste en el tiempo para llenar huecos y tener intervalos regulares

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Vectores de distancia y tiempo depurados por Espurios (quita espurios > N σ , i.e, x% confianza y Separador (quita > limite m, repetidos y separa base de datos original en los vectores de tiempo, mediciones y temperaturas)

TiempoCanario1 =

	0
0	310.788576
1	310.788715
2	310.788785
3	310.788854
4	310.788958
5	310.789028
6	310.790613
7	310.790741
8	310.79081
9	310.79088
10	310.791019
11	310.792234
12	310.792431
13	310.792535
14	310.792604
15	310.792697

DistanciaCanario1 =

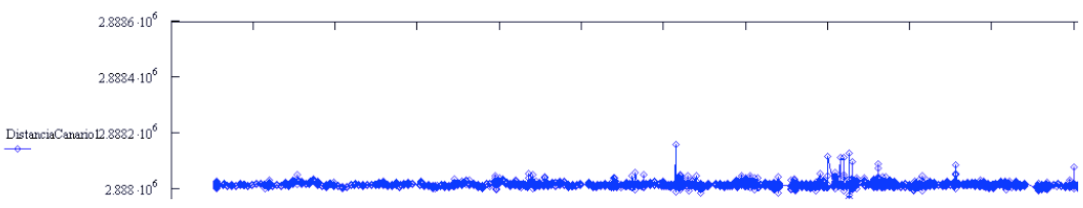
	0
0	2888019
1	2888018
2	2888005
3	2888016
4	2888016
5	2888021
6	2888016
7	2888018
8	2888016
9	2888018
10	2888019
11	2888021
12	2888012
13	2888019
14	2888021
15	2888017

Construcción de vector de Deformaciones = valores medidos-media de la sección

Prom := mean(DistanciaCanario1)

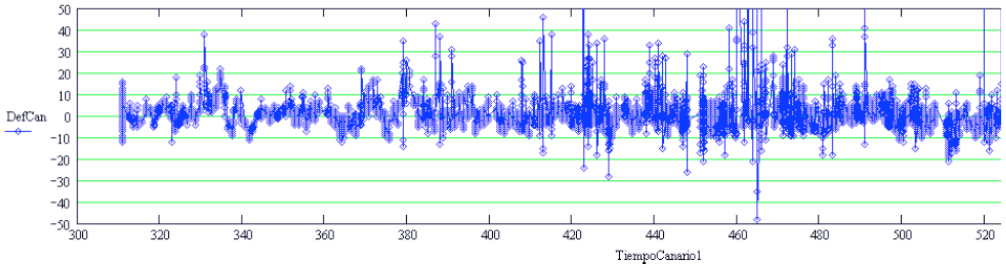
Prom = 2888014.021251

DefCan := DistanciaCanario1 − Prom



Archivo: AjustetiempoSec i prisma n, página 1 de 8

Grafica de deformaciones (datos-media de la sección)



Ajuste del vector tiempo para quitar huecos y tener intervalos regulares

TiempoCanario1 =

	0
0	310.7885763889
1	310.7887152778
2	310.7887847222
3	310.7888541667
4	310.7889583333
5	310.7890277778
6	310.7906134259
7	310.7907407407
8	310.7908101852
9	310.7908796296
10	310.7910185185
11	310.7922337963
12	310.7924305556
13	310.7925347222
14	310.7926041667
15	310.7926967593

Definición del intervalo de tiempo

El tiempo que se tomara seran los dias julianos consecutivos desde 1 de enero de 1999, es decir que al 1 de enero de 1999 le corresponde el dia 1.

Inicio de la serie tiempo

$TInicial := TiempoCanario1_0$

TInicial = 310.789

Extremo final de la serie de tiempo

$TFinal := TiempoCanario1_{rows(TiempoCanario1)-1}$

TFinal = 579.993

Se define el intervalo:

TIntervalosec := 600 En segundos

Archivo: AjustetiempoSec i prisma n, página 2 de 8

$$TIntervalodec := \frac{1}{86400} \cdot TIntervalosec$$

$TIntervalodec = 0.006944$ En fracción decimal del día.

Se crea el vector de Tiempo

Número de registros de la serie de tiempo

$$RegTiempo := round\left(\frac{TFinal - TInicial}{TIntervalodec}\right) + 1$$

$RegTiempo = 38766$

$n := 1 .. RegTiempo$

$Tiempo_0 := TInicial$

$Tiempo_n := Tiempo_{n-1} + TIntervalodec$

$Tiempo =$

	0
0	310.78858
1	310.79552
2	310.80247
3	310.80941
4	310.81635
5	310.82330
6	310.83024
7	310.83719
8	310.84413
9	310.85108
10	310.85802
11	310.86497
12	310.87191
13	310.87885
14	310.88580
15	310.89274

Rutina para obtener medias (promedio) de datos ajustando al intevalo de tiempo definido.
Relleno de huecos cortos con interpolación

Definición de hueco corto: el que mida menos de....

$Hueco := 3600$ Segundos

$$Huecodec := \frac{1}{86400} \cdot Hueco$$

$Huecodec = 0.042$ En tiempo decimal

$Ajuste(T, D) :=$

$i \leftarrow 1$
$U \leftarrow 0$
$Temp \leftarrow 0$
$k \leftarrow 0$
$m \leftarrow 0$
$Tant \leftarrow 0$
$Dato \leftarrow 0$
for $j \in 0 .. RegTiempo$
  $m \leftarrow 0$
  $Temp \leftarrow 0$
  $Dato \leftarrow 0$
  while $\left(T_k \geq Tiempo_j - \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge \left(T_k < Tiempo_j + \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge (k < rows(T) - 1)$
    $Temp_m \leftarrow D_k$
    $Tant \leftarrow T_k$
    $k \leftarrow k + 1$
    $m \leftarrow m + 1$
    $i \leftarrow 1$
  $Dato \leftarrow mean(Temp)$ if $\left(T_v \geq Tiempo_v + \frac{TIntervalodec}{}\right) \wedge m \neq 0$

Ayudas

Condicion	Expresión
Dentro del intervalo	$\left(T_k \geq Tiempo_j - TInte\right.$

```
if (T_k ≥ Tiempo_j + TIntervalodec/2) ∧ (m = 0) ∧ (T_k − Tant < Huecodec)
    pend ← (D_k − D_k−1)/(T_k − Tant)
    x ← Tiempo_j
    b ← D_k−1 − [pend·(Tant)]
    Dato ← pend·x + b
    i ← i + 1
U_j ← Dato
U
```

DeformacionCan := Ajuste(TiempoCanario1 ,DefCan)

TiempoCanario1 =

	0
0	310.789
1	310.789
2	310.789
3	310.789
4	310.789
5	310.789
6	310.791
7	310.791
8	310.791
9	310.791
10	310.791
11	310.792
12	310.792
13	310.793
14	310.793
15	310.793

DefCan =

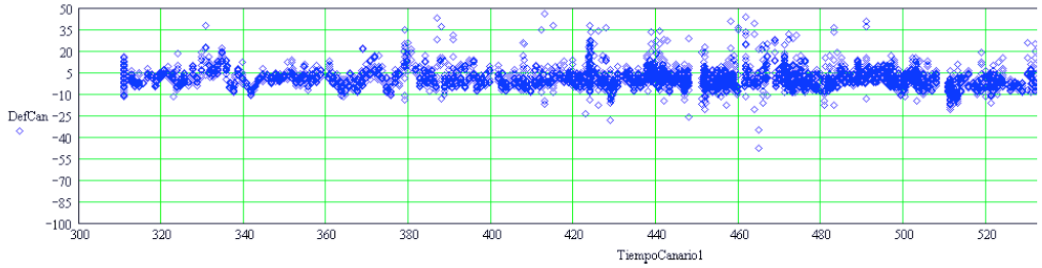
	0
0	4.979
1	3.979
2	-9.021
3	1.979
4	1.979
5	6.979
6	1.979
7	3.979
8	1.979
9	3.979
10	4.979
11	6.979
12	-2.021
13	4.979
14	6.979
15	2.979

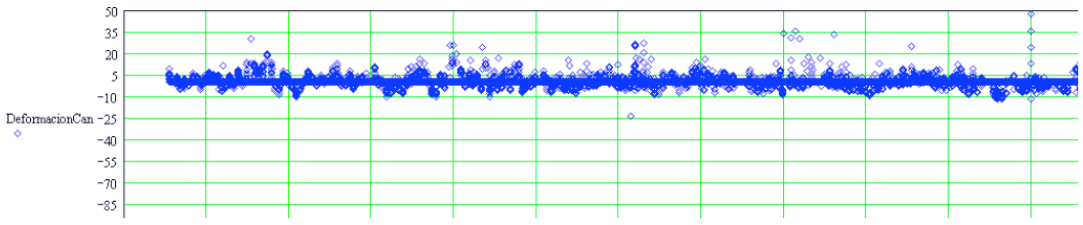
Tiempo =

	0
0	310.789
1	310.796
2	310.802
3	310.809
4	310.816
5	310.823
6	310.83
7	310.837
8	310.844
9	310.851
10	310.858
11	310.865
12	310.872
13	310.879
14	310.886
15	310.893

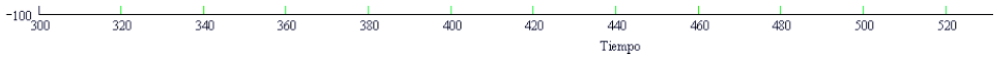
DeformacionCan =

	0
0	2.5242
1	3.97875
2	8.97875
3	6.31208
4	1.81746
5	1.49038
6	2.23456
7	5.56708
8	2.57875
9	3.63633
10	4.77875
11	1.86764
12	2.31208
13	0
14	0
15	0





Archivo: AjustetiempoSec i prisma n, página 4 de 8



Ajuste a tiempo con intervalos regulares de datos actividad volcánica.

Rutina para obtener medias (promedio) de datos ajustando al intevalo de tiempo definido.
Relleno de huecos cortos con interpolación

Definición de hueco corto: el que mida menos de....

Hueco := 129601 Segundos

$$Huecodec := \frac{1}{86400} Hueco$$

Huecodec = 1.5 En tiempo decimal

trunc(TInicial) = 310

JD =

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

Ex

Ajuste(T, D) :=
- i ← 1
- U ← 0
- Temp ← 0
- k ← trunc(TInicial)
- m ← 0
- Tant ← 0
- Dato ← 0
- for j ∈ 0.. RegTiempo
  - m ← 0
  - Temp ← 0
  - Dato ← 0
  - while $\left(T_k < Tiempo_j - \frac{TIntervalodec}{2}\right)$
    - k ← k + 1
  - while $\left(T_k \geq Tiempo_j - \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge \left(T_k < Tiempo_j + \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge (k < rows(T) - 1)$
    - $Temp_m \leftarrow D_k$
    - Tant ← T_k
    - k ← k + 1
    - m ← m + 1
    - i ← 1
  - Dato ← mean(Temp) if $\left(T_k \geq Tiempo_j + \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge m \neq 0$
  - if $\left(T_k \geq Tiempo_j + \frac{TIntervalodec}{2}\right) \wedge (m = 0) \wedge \left(T_k - Tant < Huecodec\right)$
    - $pend \leftarrow \frac{D_k - D_{k-1}}{T_k - Tant}$
    - $x \leftarrow Tiempo_j$
    - $b \leftarrow D_{k-1} - [pend \cdot (Tant)]$
    - Dato ← pend·x + b
    - i ← i + 1
  - $U_j \leftarrow Dato$
- U

Aplicación de la funcion de ajuste a exhalaciones diarias

ExDAju := Ajuste(JD, ExD)

Aplicación de la funcion de ajuste a

JD =

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8

ExD =

	0
0	93
1	60
2	50
3	68
4	81
5	77
6	66
7	68

ExDAju =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0

vulcanotectonicos

VTDAju := Ajuste(JD,VTD)

Aplicación de la funcion de ajuste a domos intervalo

DIntAju := Ajuste(JD,DInt)

Aplicación de la funcion de ajuste a domos Hanning en fase

DHanFAju := Ajuste(JD,DHanF)

Aplicación de la funcion de ajuste a domos Hanning centrado en inicio

DHanCIAju := Ajuste(JD,DHanCI)

Aplicación de la funcion de ajuste a Exhalaciones que disparan Xdetect

ExhXDETAju := Ajuste(JD,ExhXDETECT)

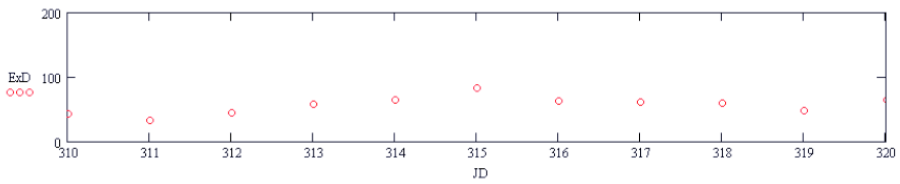
Aplicación de la funcion de ajuste a RSAM

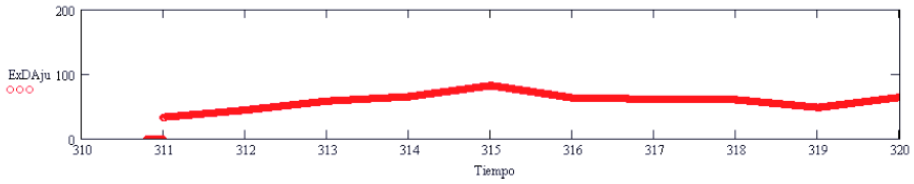
RSAMCanAju := Ajuste(TiempoRSAM,RSAMCan)

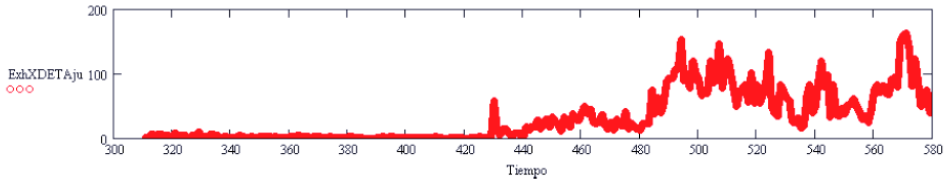
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

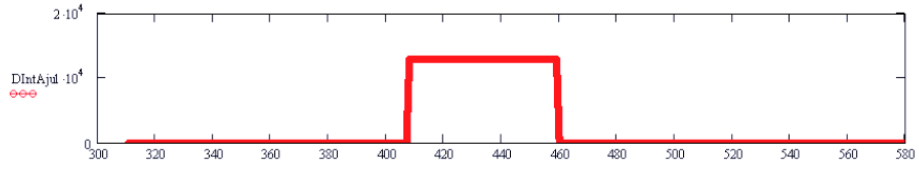
8	68
9	73
10	53
11	54
12	78
13	63
14	56
15	76

8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0









Archivo: AjustetiempoSec i prisma n, página 6 de 8

Tiempo

Ajuste para pulsos

trunc(TInicial) = 310

$$\begin{aligned}
&\text{Ajuste}(T, D) := \\
&\quad i \leftarrow 1 \\
&\quad U \leftarrow 0 \\
&\quad \text{Temp} \leftarrow 0 \\
&\quad k \leftarrow \text{trunc}(\text{TInicial}) \\
&\quad m \leftarrow 0 \\
&\quad \text{Tant} \leftarrow 0 \\
&\quad \text{Dato} \leftarrow 0 \\
&\quad \text{for } j \in 0..\text{RegTiempo} \\
&\quad\quad m \leftarrow 0 \\
&\quad\quad \text{Temp} \leftarrow 0 \\
&\quad\quad \text{Dato} \leftarrow 0 \\
&\quad\quad \text{while } \left(T_k \geq \text{Tiempo}_j - \frac{\text{TIntervalodec}}{2}\right) \wedge \left(T_k < \text{Tiempo}_j + \frac{\text{TIntervalodec}}{2}\right) \wedge (k < \text{rows}(T) - 1) \\
&\quad\quad\quad \text{Temp}_m \leftarrow D_k \\
&\quad\quad\quad \text{Tant} \leftarrow T_k \\
&\quad\quad\quad k \leftarrow k + 1 \\
&\quad\quad\quad m \leftarrow m + 1 \\
&\quad\quad\quad i \leftarrow 1 \\
&\quad\quad \text{Dato} \leftarrow \text{mean}(\text{Temp}) \quad \text{if } \left(T_k \geq \text{Tiempo}_j + \frac{\text{TIntervalodec}}{2}\right) \wedge m \neq 0 \\
&\quad\quad U_j \leftarrow \text{Dato} \\
&\quad U
\end{aligned}$$

Aplicación de la funcion de ajuste a domos crecimiento

DCreAju := Ajuste(TDCre, DCre)

Aplicación de la funcion de ajuste a domos destrucció

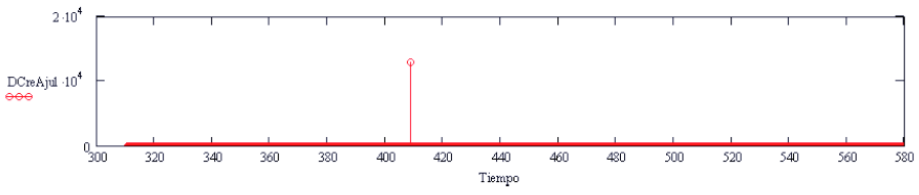
DDesAju := Ajuste(TDDes, DDes)

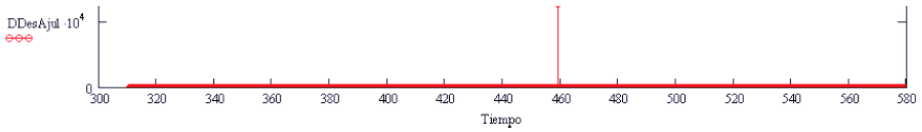
Aplicación de la funcion de ajuste a Exhalaciones > 2km

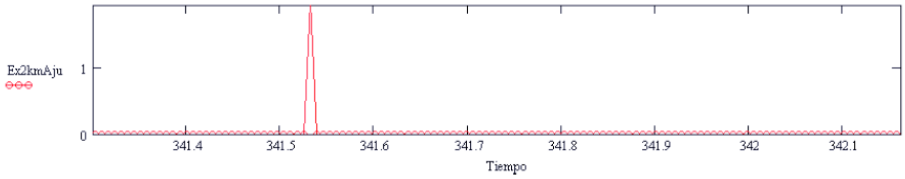
Ex2kmAju := Ajuste(TEx2km, Ex2km)

Aplicación de la funcion de ajuste a Vulcanotectonicos Mc>3

VTMC3Aju := Ajuste(JD, VTMC3)







Tiempo =

	0
0	310.789
1	310.796
2	310.802
3	310.809
4	310.816
5	310.823
6	310.83
7	310.837
8	310.844
9	310.851
10	310.858
11	310.865
12	310.872
13	310.879
14	310.886
15	310.893

DeformacionCan =

	0
0	2.524
1	3.979
2	8.979
3	6.312
4	1.817
5	1.49
6	2.235
7	5.567
8	2.579
9	3.636
10	4.779
11	1.868
12	2.312
13	0
14	0
15	0

Archivo: AjustetiempoSec i prisma n, página 8 de 8

Correlaciónes

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\AjusteTiempoSec1Can.mcd(R)

Correlación Deformación - EXHALACIONES-DIARIAS Contadas en sismogramas

CorrCan1 := correl(ExDAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Vulcanotectonicos

CorrCan3 := correl(VTDAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Domos Crecimiento

CorrCan4 := correl(DCreAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Domos Destrucción

CorrCan7 := correl(DDesAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Domos Pulso

CorrCan8 := correl(DIntAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Domos Hanning en Fase

CorrCan9 := correl(DHanFAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Domos Hanning en Centrado en Inicio

CorrCan10 := correl(DHanCIAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Exhalaciones > 2km.

CorrCan5 := correl(Ex2kmAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Exhalaciones dispararon Xdetect

CorrCan6 := correl(ExhXDETAju,DeformacionCan)

Correlación Deformación - Exhalaciones dispararon Vulcanotectonicos MX>3

CorrCan2 := correl(VTMC3Aju,DeformacionCan)

Archivo: CorrelaciónSec i prisma n, página 1 de 2

Exportar Datos de correlaciones para no repetir procesos

CorrCan1

CorrCan2

CorrCan3

CorrCan4

CorrCan5

CorrCan6

CorrCan7

CorrCan8

CorrCan9

CorrCan10

Archivo: CorrelaciónSec i prisma n, página 2 de 2

Eventos del volcán

Lectura de datos desde excel:

Dias julianos contados a partir del 1 de enero de 1995

JD :=

JD =

	0
0	1462
1	1463
2	1464
3	1465
4	1466
5	1467
6	1468
7	1469
8	1470
9	1471
10	1472
11	1473
12	1474
13	1475
14	1476
15	1477

Exhalaciones diarias:

ExD :=

ExD =

	0
0	93
1	60
2	50
3	68
4	81
5	77
6	66
7	68
8	68
9	73
10	53
11	54
12	78
13	63
14	56
15	76

Transformación de dias julianos a dias julianos consecutivos desde 1 de enero de 1999 hasta 31 de Diciembre de 2003

JD := JD − 1461

JD =

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

Vulanotectonicosdiarios:

VTD :=

VTD =

	0
0	1
1	2
2	0
3	0
4	1
5	0
6	0
7	0
8	5
9	1
10	0
11	1
12	0
13	1
14	2

DOMOS

Domos Volumen relacionado con fecha de Inicio de crecimiento:

Tiempos

TDCre :=

TDCre =

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

Volúmen

DCre :=

Domos Volumen relacionado con fecha de Destrucción de crecimiento:

Tiempos

TDDes :=

Datos

DDes :=

Domos : Volumen relacionado con tiempos del intervalo del domo

Tiempos

TDInt :=

Datos

Usar JD

DInt :=

TDInt =

	0
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

DInt =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0

8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Domos : Volumen relacionado con HANNING EN FASE

Tiempo : usar
JD

Datos

DHanF :=

DHanF =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Domos : Volumen relacionado con HANNING Centrado en inicio

Tiempo : usar
JD

Datos

DHanCI :=

DHanCI =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Exhalaciones mayores a 2 km

Tiempos

	0
0	1
1	2
2	3

TEx2km :=

Datos

Ex2km :=

TEx2km =

3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
10	11
11	12
12	13
13	14
14	15
15	16

Ex2km =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Exhalaciones XDETECT

ExhXDETECT :=

ExhXDETECT =

	0
0	5
1	12
2	12
3	6
4	4
5	7
6	8
7	5
8	3
9	2
10	5
11	2
12	3
13	6
14	5
15	34

Vulcanotectónicos Mc>3

VTMC3 :=

VTMC3 =

	0
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	$1 \cdot 10^3$
15	0

RSAM 10 MINUTOS

RSAM :=

	0	1

RSAM =

0	20	36161.0069444444
1	21	36161.0138888889
2	18	36161.0208333333
3	18	36161.0277777778
4	18	36161.0347222222
5	18	36161.0416666667
6	19	36161.0486111111
7	18	36161.0555555556
8	18	36161.0625
9	19	36161.0694444444
10	26	36161.0763888889
11	23	36161.0833333333
12	23	36161.0902777778
13	19	36161.0972222222
14	18	36161.1041666667
15	19	36161.1111111111

$TiempoRSAM := RSAM^{\langle 1 \rangle}$

$TiempoRSAM := TiempoRSAM - 36160$

TiempoRSAM =

	0
0	1.0069444444
1	1.0138888889
2	1.0208333333
3	1.0277777778
4	1.0347222222
5	1.0416666667
6	1.0486111111
7	1.0555555556
8	1.0625
9	1.0694444444
10	1.0763888889
11	1.0833333333
12	1.0902777778
13	1.0972222222
14	1.1041666667
15	1.1111111111

$RSAMCan := RSAM^{\langle 0 \rangle}$

$RSAM := RSAMCan$

RSAMCan =

	0
0	20
1	21
2	18
3	18
4	18
5	18
6	19
7	18
8	18
9	19
10	26
11	23
12	23
13	19
14	18
15	19

RSAM 1 MINUTO

Procedimiento para acondicionar datos de tipo (*. dat) para usarlos en Mathcad:

Cambiar la extensión a tipo "texto (*.txt)".
Dentro de MSAccess ir a Archivo>Obtener datos Externos>Importar.
En el Asistente para importación de texto, seleccionar ancho fijo y clic en siguiente.
Dar clic en siguiente.
Seleccionar almacenar datos en una nueva tabla y dar clic en siguiente.
Dar clic en siguiente para dejar todo como texto
Seleccionar sin clave principal y dar clic en siguiente
Dar clic en finalizar
Remplazar los caracteres de meses "JAN, APR, AUG, DEC" por "ENE, ABR, AGO Y DIC" respectivamente.
Crear una nueva consulta utilizando el asistente
Seleccionar la tabla recientemente creada
Seleccionar todos los campos y dar clic en siguiente
Seleccionar "detalle" y dar clic en siguiente
Seleccionar "modificar el diseño de la consulta" y dar clic en Finalizar.
En la vista de diseño de consulta ir a último campo (columna) y copiar :
TIEMPO: Formato(ValorFecha([Campo1])+ValorHora([Campo2]),"#.##########")
Guardar la modificación y cambiar a "Vista hoja de datos".
En Archivo>Exportar y guardar como tipo txt, delimitado por ancho fijo.

	0	1	2
0	"01-NOV-2001"	"10:45"	
1	"01-NOV-2001"	"10:46"	

RSAM1M2001 :=

RSAM1M2001 =

2	"01-NOV-2001"	"10:47"	
3	"01-NOV-2001"	"10:48"	
4	"01-NOV-2001"	"10:49"	
5	"01-NOV-2001"	"10:50"	
6	"01-NOV-2001"	"10:51"	
7	"01-NOV-2001"	"10:52"	
8	"01-NOV-2001"	"10:53"	
9	"01-NOV-2001"	"10:54"	
10	"01-NOV-2001"	"10:55"	
11	"01-NOV-2001"	"10:56"	
12	"01-NOV-2001"	"10:57"	

RSAM1M1999 :=

RSAM1M1999 =

	0	1	2
0	"27-SEP-1999"	"15:46"	20
1	"27-SEP-1999"	"15:47"	18
2	"27-SEP-1999"	"15:48"	17
3	"27-SEP-1999"	"15:49"	16
4	"27-SEP-1999"	"15:50"	17
5	"27-SEP-1999"	"15:51"	17
6	"27-SEP-1999"	"15:52"	17
7	"27-SEP-1999"	"15:53"	16
8	"27-SEP-1999"	"15:54"	16
9	"27-SEP-1999"	"15:55"	17
10	"27-SEP-1999"	"15:56"	17
11	"27-SEP-1999"	"15:57"	17
12	"27-SEP-1999"	"15:58"	16

RSAM1M2002 :=

(RSAM1M2002) =

	0	1	2
0	"01-ENE-2002"	"00:46"	6
1	"01-ENE-2002"	"00:47"	7
2	"01-ENE-2002"	"00:48"	7
3	"01-ENE-2002"	"00:49"	14
4	"01-ENE-2002"	"00:51"	9
5	"01-ENE-2002"	"00:52"	10
6	"01-ENE-2002"	"00:53"	7
7	"01-ENE-2002"	"00:54"	7
8	"01-ENE-2002"	"00:55"	7
9	"01-ENE-2002"	"00:56"	7
10	"01-ENE-2002"	"00:57"	7
11	"01-ENE-2002"	"00:58"	6
12	"01-ENE-2002"	"00:59"	7
13	"01-ENE-2002"	"01:00"	6
14	"01-ENE-2002"	"01:01"	7
15	"01-ENE-2002"	"01:02"	6

RSAM1M2003 :=

RSAM1M2003 =

	0	1	2	
0	"01-ENE-2003"	"00:03"	12	
1	"01-ENE-2003"	"00:04"	12	
2	"01-ENE-2003"	"00:05"	12	
3	"01-ENE-2003"	"00:06"	12	
4	"01-ENE-2003"	"00:07"	12	
5	"01-ENE-2003"	"00:08"	12	
6	"01-ENE-2003"	"00:09"	12	
7	"01-ENE-2003"	"00:10"	12	
8	"01-ENE-2003"	"00:11"	12	
9	"01-ENE-2003"	"00:12"	12	
10	"01-ENE-2003"	"00:13"	12	
11	"01-ENE-2003"	"00:14"	12	
12	"01-ENE-2003"	"00:15"	12	
13	"01-ENE-2003"	"00:16"	12	
14	"01-ENE-2003"	"00:17"	12	
15	"01-ENE-2003"	"00:18"	12	

RSAM1M1999todo :=

	0	1	2	3
0	"01-ENE-1999"	"00:02"	21	

RESULTADOS Correlaciónes Sección 1 Canario

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos
Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\AjusteTiempoSec1Can.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\CorrelacionSec1Can.mcd(R)

Lectura de datos de correlaciones previamente procesados

Sec1CanCorr1 :=

Sec1CanCorr2 :=

Sec1CanCorr3 :=

Sec1CanCorr4 :=

Sec1CanCorr5 :=

Sec1CanCorr6 :=

Sec1CanCorr7 :=

Sec1CanCorr8 :=

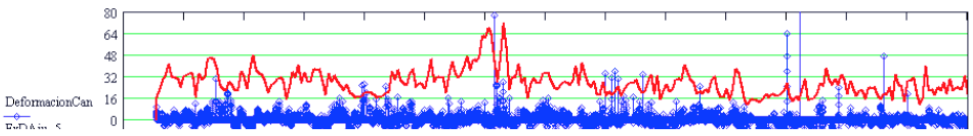
Sec1CanCorr9 :=

Sec1CanCorr10 :=

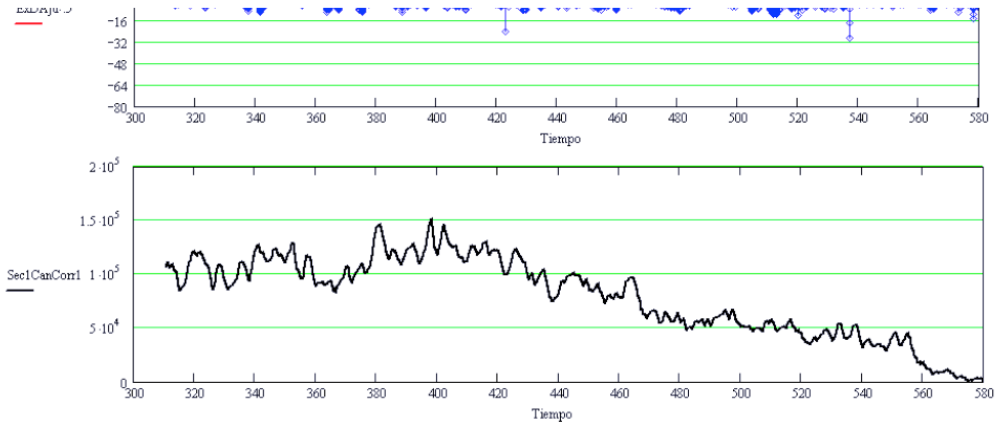
Correlación Deformación - EXHALACIONES-DIARIAS Contadas en sismogramas

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

CANARIO



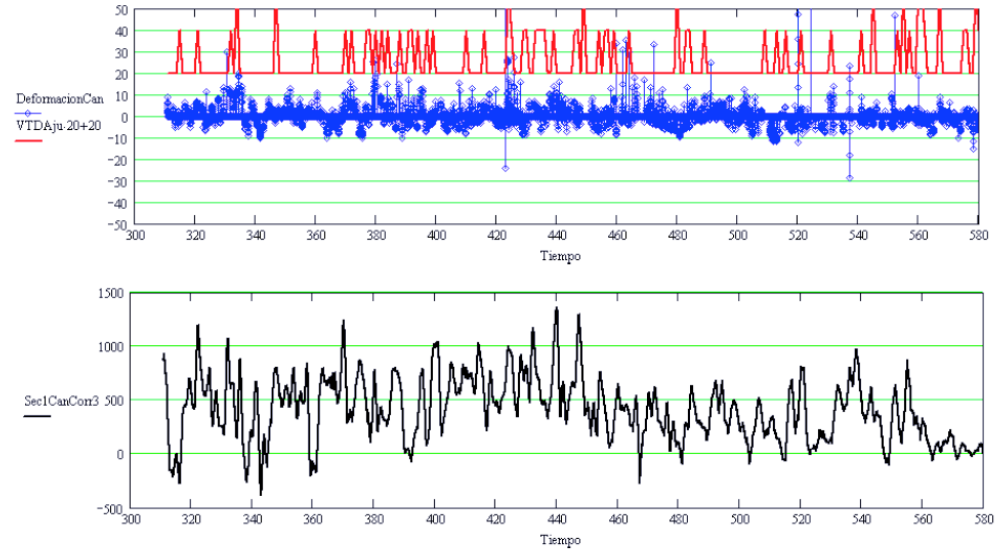
Archivo: RESULCorrelsec i prisma n, página 1 de 6



Correlación Deformación - Vulcanotectonicos

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

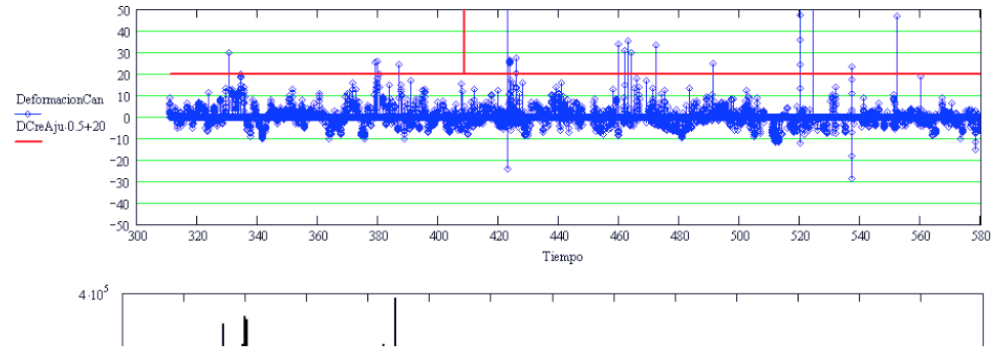
CANARIO



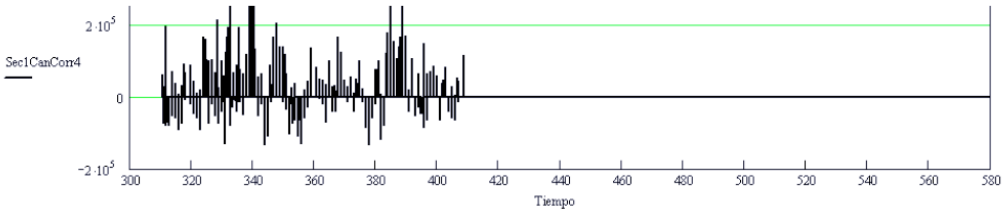
Correlación Deformación - Domos Crecimiento

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

CANARIO



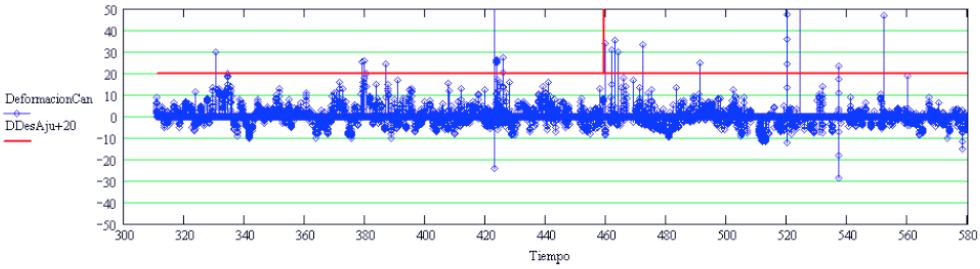
Archivo: RESULCorrelsec i prisma n, página 2 de 6

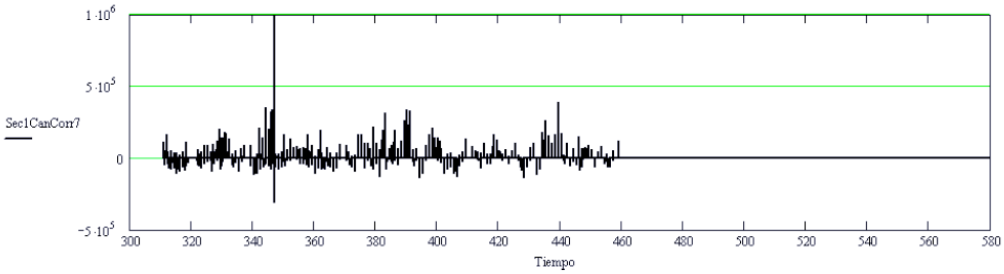


Correlación Deformación - Domos Destrucción

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

CANARIO

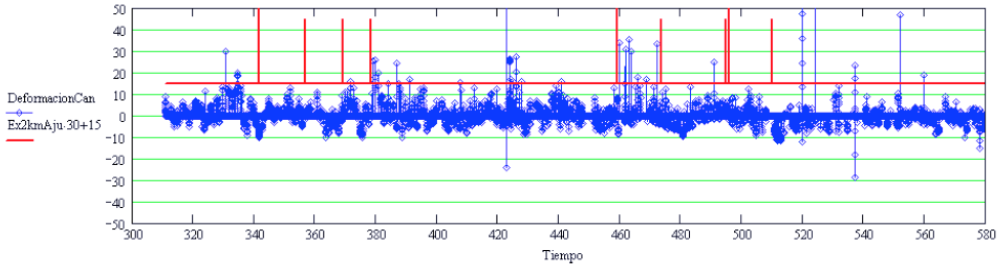


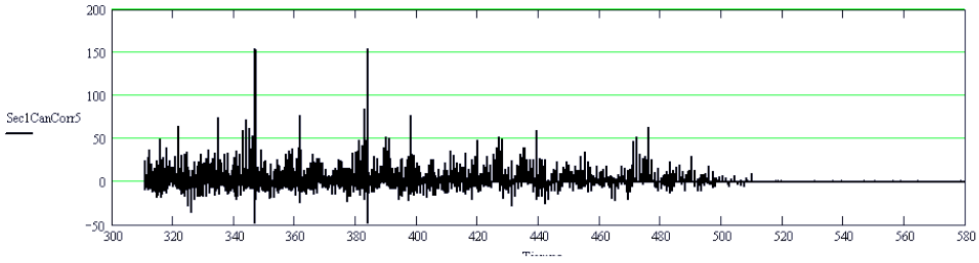


Correlación Deformación - Exhalaciones > 2km.

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000

CANARIO

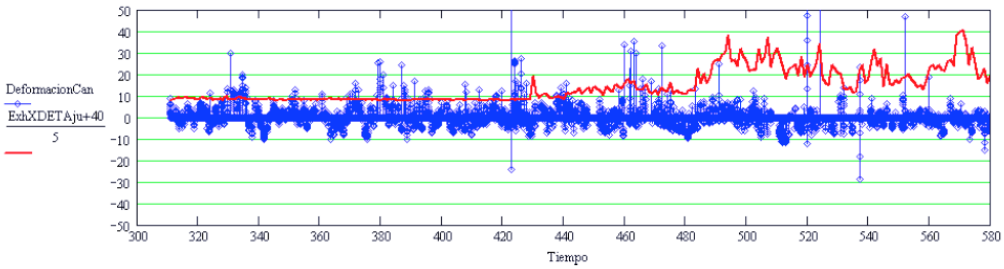


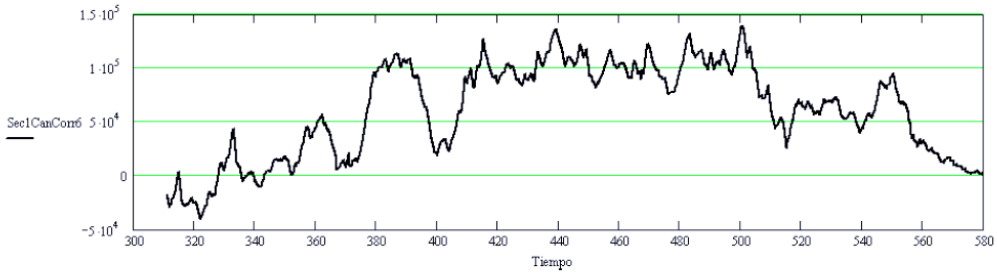


Tiempo

Correlación Deformación - Exhalaciones dispararon Xdetect

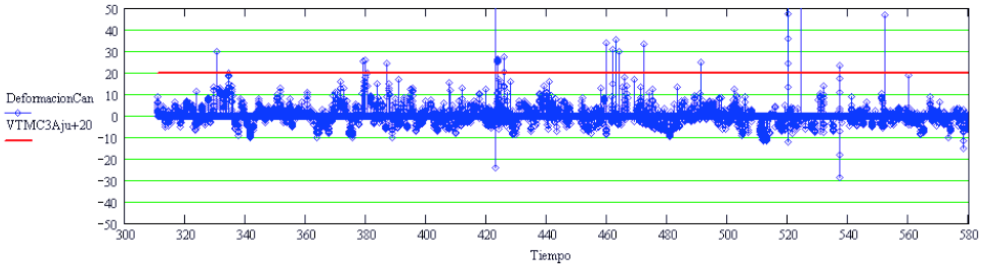
Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000 CANARIO

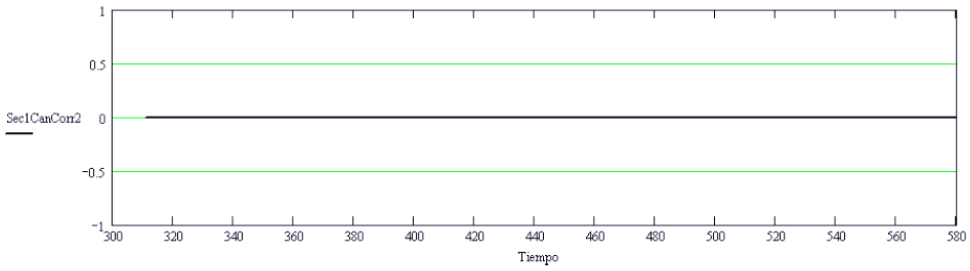




Correlación Deformación - Vulcanotectonicos MC>3

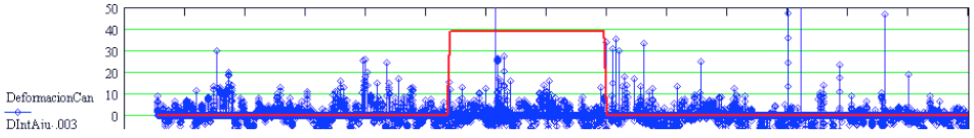
Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000 CANARIO



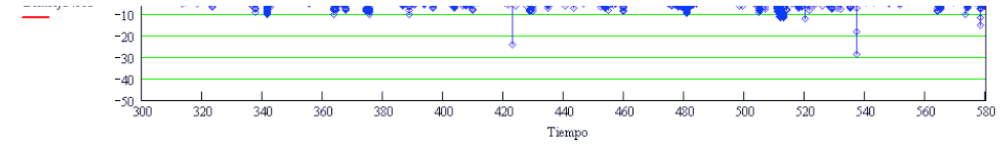


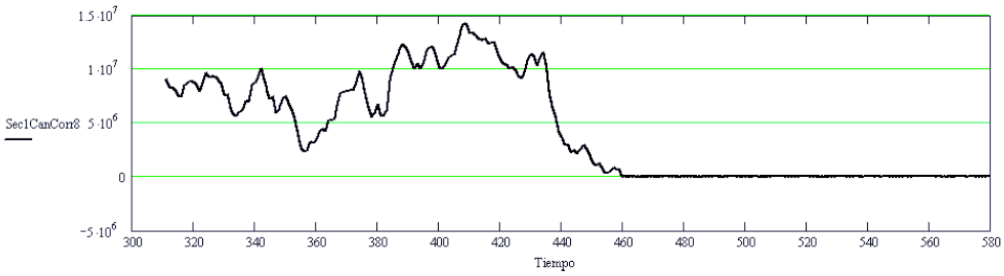
Correlación Deformación - Domo Pulso

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000 CANARIO



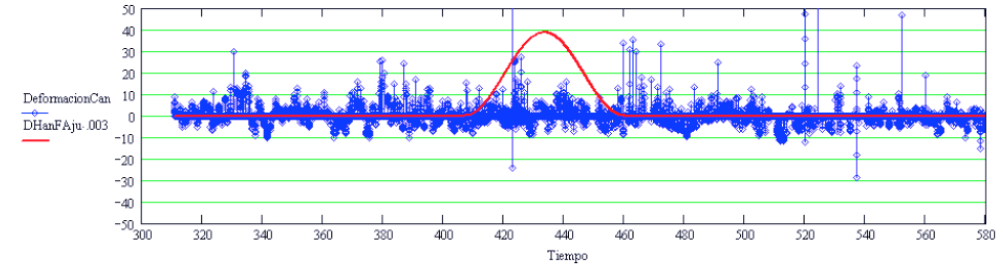
Archivo: RESULCorrelsec i prisma n, página 4 de 6

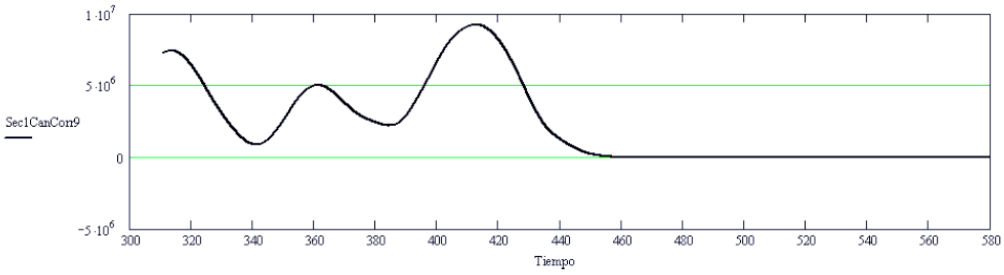




Correlación Deformación - Domo Hanning en Fase

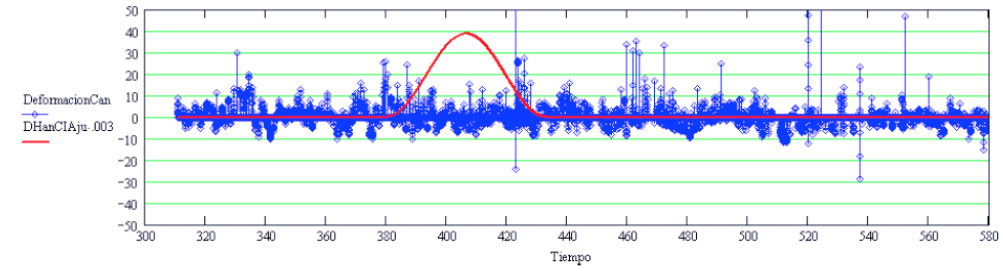
Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000 CANARIO

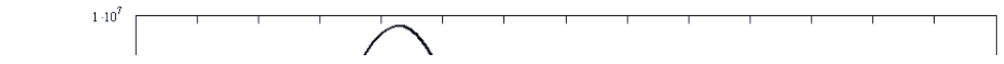




Correlación Deformación - Domo Hanning centrado en inicio

Sección 1 del 06 nov 1999 al 1 de agosto 2000 CANARIO





Archivo: RESULCorrel sec i prisma n, página 5 de 6

Correlaciones RSAM Sección 1

Enlace externo de datos (ENTRADA):

Referencia a otros documentos Mathcad:

Reference:E:\EDM\Eventos.mcd(R)

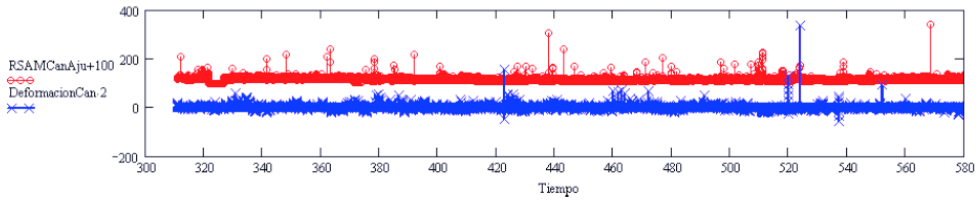
Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\ParametrosGenerales.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\ConsultaACCSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\SeparadorSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\EspuriosSec1.mcd(R)

Reference:E:\EDM\PaquetesAnalisisEDM\AnalisisEDMSec1\Canario\AjusteTiempoSec1Can.mcd(R)



FUNCION DE EXTRACCIÓN

$$\text{Extraer}(D, TInicial, TFinal) := \begin{| U \leftarrow 0 \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..\text{rows}(Tiempo) - 1 \\ \quad \text{if } (Tiempo_j \geq TInicial) \wedge (Tiempo_j \leq TFinal) \\ \quad\quad \begin{| U_k \leftarrow D_j \\ \quad\quad k \leftarrow k + 1 \\ U \end{|}$$

Intervalo

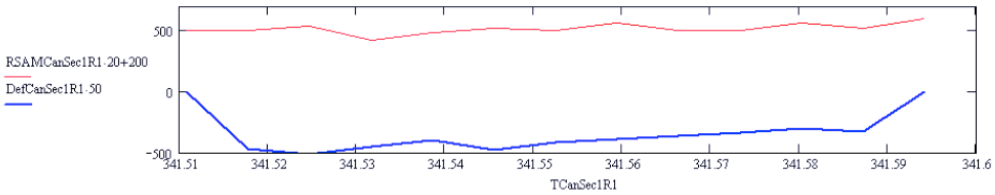
TI := 341.51

TF := 341.6

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo, TI, TF) rows(TCanSec1R1) = 13

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju, TI, TF) rows(RSAMCanSec1R1) = 13

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan, TI, TF) rows(DefCanSec1R1) = 13

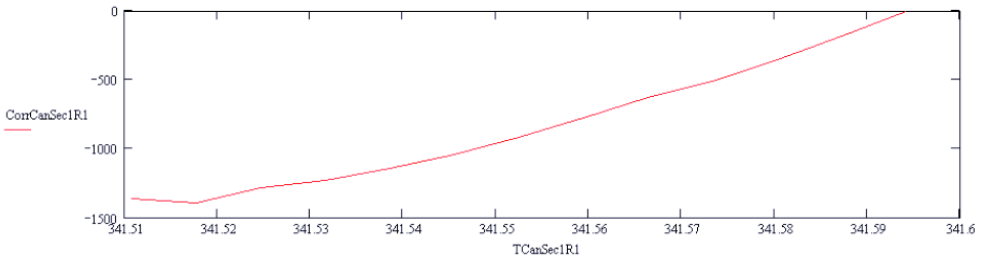


CorrCanSec1R1 := correl(RSAMCanSec1R1, DefCanSec1R1)

RCorrCanSec1R1 := recenter(CorrCanSec1R1)

Mitad := TCanSec1R1 $_{\frac{rows(TCanSec1R1)}{2}+1}$ Mitad = 1

Correlación RSAM - Deformación Sección 1 Canario Fecha inicial TI = 341.51 Fecha final TF = 341.6



Intervalo

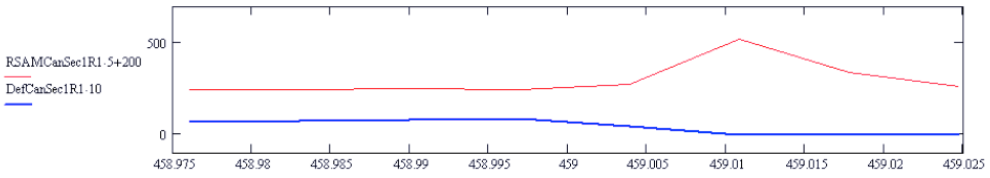
TI := 458.97

TF := 459.03

TCanSec1R1 := Extraer(Tiempo, TI, TF) rows(TCanSec1R1) = 8

RSAMCanSec1R1 := Extraer(RSAMCanAju, TI, TF) rows(RSAMCanSec1R1) = 8

DefCanSec1R1 := Extraer(DeformacionCan, TI, TF) rows(DefCanSec1R1) = 8



Archivo: RESULCoorel RSAM sec i prisma n, página 2 de 7

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Errasti O.U., Juarez G.J.A. y Huerta R.M.A.; “Diseño e implementación de un sistema automatizado para el monitoreo de deformaciones volcánicas en tiempo cuasi real”; Tesis de licenciatura Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, México DF 2000.

Gómez Vázquez, Ángel, “Métodos Topográficos Empleados en el Monitoreo de la Corteza Terrestre del Volcán Popocatépetl”. Tesis que para obtener el titulo de Ingeniero Topógrafo y Geodesta. UNAM. Febrero 2000. 103pp

Pahl, G and Beitz, W.; “Engineering Design: a systematic approach” 2nd printing, Springer-Verlag, London 1999.

Günther, J and Ehrlenspiel, K.; “Comparing designers from practice and designers with systematic design education”; Design Studies Vol. 20 No. 5 Elsevier Science LTD; Great Britain, September 1999

Slocum, A. H.; “Precision Machine Design”, Prentice Hall, USA 1992

Dörner, D.; “Approaching design thinking research”, Design Studies Vol. 20 No. 5 Elsevier Science LTD; Great Britain, September 1999

Rzevski, G.; “On conceptual design of intelligent mechatronic systems”; Mechatronics 13 (2003) 1029–1044 Pergamon, Elsevier 2003

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEGUNDA GENERACIÓN PARA EL MONITOREO CONTÍNUO DE DEFORMACIONES VOLCÁNICAS

RESUMEN

La actividad volcánica representa un riesgo para la población y por tanto existe la necesidad de mayor y mejor información que permita hacer pronósticos confiables para sustentar la toma de decisiones en las acciones para proteger a la población. Uno de los parámetros más importantes para el diagnóstico del peligro volcánico es la deformación que sufre el volcán por efecto de presiones internas. Los especialistas han medido esta deformación con diferentes técnicas. Una de ellas se basa en la medición del cambio de distancias desde un punto fijo hacia puntos en el cono volcánico utilizando distanciómetros láser. La medición convencional implica que los especialistas deben desplazarse a lugares cercanos al volcán para efectuar las medidas y después procesarlas. Esto presenta inconvenientes como tiempo, costo, y sobre todo riesgo para el personal. Para resolver este problema se inició el proyecto de diseño, construcción y puesta en operación de un sistema automatizado para la medición de deformaciones volcánicas en tiempo casi real. Cómo resultado de ese proyecto se logró instalar un primer sistema en el volcán Popocatépetl. Esta tesis describe el diseño de un sistema de segunda generación que busca obtener un mejor desempeño aprovechando el trabajo realizado con su predecesor y desarrolla un proceso sistematizado de metodología de diseño. El principal propósito del uso de esa metodología es obtener un diseño más eficiente y confiable y en consecuencia un mejor sistema para la medición continua y automatizada de deformaciones volcánicas. Las ventajas de estos sistemas de monitoreo motivan el interés de usarlos en diferentes volcanes activos del mundo lo que representa un estímulo más para la continuidad del proyecto. Durante el proceso sistematizado se genera información en cada etapa del diseño, la documentación ordenada permite la revisión y mejora continua del sistema. Esta segunda generación cuenta con mayor precisión de movimiento lo que permite al sistema ser más eficiente en la búsqueda de puntos o prismas, el ensamble estructural es más ligero, compacto y cuenta con menos piezas y la arquitectura de control con módulo de respaldo aumenta la confiabilidad.