



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLÓGICA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES – IDEAM



ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS  
FOPAE

**TÍTULO(S) Y SUBTÍTULO(S):** CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO  
DE DATOS METEOROLOGICOS

**AUTOR(ES):** GLORIA ESPERANZA LEÓN ARISTIZÁBAL.  
(Subdirección de Meteorología-IDEAM).

**RESUMEN:** En este documento se hace la formulación de los procedimientos de control de calidad de los datos meteorológicos teniendo en cuenta los límites físicos y climatológicos para su validación; así mismo se verifica la inconsistencia de los datos mediante pruebas de coherencia interna, temporal, vertical y espacial. Se definen las banderas de identificación de inconsistencias a utilizar en la base de datos.

**PALABRAS CLAVES:** CONTROL DE CALIDAD, DATOS METEOROLÓGICOS, PRUEBAS DE COHERENCIA, INCONSISTENCIAS, BASES DE DATOS.

**TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:**

**CLASIFICACIÓN DE  
SEGURIDAD:**

CLASIFICADO

**CONTRATO:**

CONVENIO INTER-  
ADMINISTRATIVO  
(IDEAM – FOPAE)  
No. 198/04 - IDEAM  
No. 550/04 – FOPAE  
PARA MEJORAR EL  
CONOCIMIENTO DEL CLIMA Y  
AMPLIAR LA RED DE MONITOREO  
HIDROMETEOROLÓGICO  
DE BOGOTA D. C.

**IDIOMA:**

ESPAÑOL

**NÚMERO DE  
PÁGINAS**

54

**NOTAS/OBSERVACIONES:**



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES – IDEAM



ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS  
FOPAE

**CLASIFICADO**

**CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO  
DE DATOS METEOROLOGICOS**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO  
(IDEAM – FOPAE)  
No. 198/04 –IDEAM  
No. 550/04 – FOPAE  
PARA MEJORAR EL CONOCIMIENTO  
DEL CLIMA Y AMPLIAR LA RED DE MONITOREO  
HIDROMETEOROLÓGICO DE BOGOTA D. C.**

**20 de febrero de 2007**



## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO DE DATOS METEOROLOGICOS .....	7
2.1. OBJETIVO.....	7
2.2. PRINCIPIOS GENERALES .....	7
2.2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LOS DATOS.....	8
2.2.2. CONTROL DE CALIDAD .....	11
2.2.3. DATOS DE SUPERFICIE.....	12
2.2.4 CENTROS DE DATOS .....	12
2.2.5 INTERACCIÓN CON LAS ESTACIONES SOBRE EL TERRENO.....	13
2.2.6 VIGILANCIA DEL FUNCIONAMIENTO .....	13
2.2.7 HOMOGENEIDAD DE LOS DATOS Y METADATOS .....	14
2.2.8 CAUSAS DE HETEROGENEIDAD EN LOS DATOS .....	14
2.2.9 METADATOS.....	15
2.2.10 ELEMENTOS DE UNA BASE DE DATOS DE METADATOS .....	15
2.2.11 RECOMENDACIONES PARA UN SISTEMA DE METADATOS.....	16
2.2.12 GESTIÓN DE REDES.....	16
2.2.14 INSPECCIONES .....	17
3. PROCEDIMIENTOS DEL CONTROL AUTOMATICO .....	19
3.1 NIVEL I O VERIFICACIÓN DE GRANDES ERRORES .....	19
3.2 NIVEL II O VERIFICACION COHERENCIA INTERNA, TEMPORAL Y VERTICAL.....	23
3.2.1 COHERENCIA INTERNA.....	23
3.2.2 COHERENCIA TEMPORAL .....	25
3.2.3 COHERENCIA VERTICAL .....	26
3.3 NIVEL 3 – COHERENCIA ESPACIAL .....	30
3.3.1 PRUEBA DE CONTIGÜIDAD .....	30
3.3.2 COMPARACION CON ANALISIS .....	31



4. CONCLUSIONES .....	32
5. BIBIOGRAFIA.....	34
ANEXO 1 .....	36
ANEXO 2 .....	40
ANEXO 3.....	43
ANEXO 4 .....	45
ANEXO 5.....	51



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. LÍMITES PARA LA VALIDACIÓN DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS EN SUPERFICIE.....	20
TABLA 2. VERIFICACIONES DE LA COHERENCIA INTERNA DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFICIE.....	23
TABLA 3. VERIFICACIONES DE LA COHERENCIA TEMPORAL DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS EN SUPERFICIE.....	25
TABLA 4. LÍMITES DE LAS INVERSIONES.....	27
TABLA 5. EJEMPLO DE SISTEMAS DE INDICADORES.....	31
TABLA 6. NIVELES DE CONTROL DE LOS DATOS DE METEOROLÓGICOS DE SUPERFICIE.....	32
TABLA 7. NIVELES DE CONTROL DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS EN ALTURA.....	33



# CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS

## RESUMEN

*En este documento se hace la formulación de los procedimientos de control de calidad de los datos meteorológicos teniendo en cuenta los límites físicos y climatológicos para su validación; así mismo se verifica la inconsistencia de los datos mediante pruebas de coherencia interna, temporal, vertical y espacial. Se definen las banderas de identificación de inconsistencias a utilizar en la base de datos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El control de calidad es un concepto muy familiar para los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) en el marco de los mecanismos destinados a fomentar la coherencia entre datos. El sistema de gestión de la calidad es un instrumento que se utiliza para lograr eficacia y eficiencia en los resultados de los distintos procesos que se llevan a cabo, como en el sistemas de observación, de los servicios de meteorología aeronáutica, el sistema de pronóstico, entre muchos otros más.

El objetivo fundamental del control de calidad de los *datos meteorológicos* para la predicción meteorológica reside en establecer la base funcional para garantizar la mejora continua de la fiabilidad y exactitud de las predicciones y aumentar y mantener la confianza de los usuarios. Los *datos meteorológicos* además son la fuente principal para las caracterizaciones del tiempo y el clima, por lo cual se constituyen en elementos importantes en la planificación de las actividades de los seres humanos, en particular cuando tienen que enfrentarse a situaciones meteorológicas extremas, en razón de ello, la entidad debe facilitar información meteorológica fiable a la sociedad, para contribuir positivamente en el proceso de adopción de decisiones que afectan al desarrollo del país.

La formulación de los procedimientos de control de calidad de los *datos meteorológicos* se debe preparar y realizar teniendo en cuenta la norma ISO 9001, con fines de que la entidad pueda obtener esta certificación en un futuro cercano sobre su sistema de gestión de la calidad.

La norma ISO 9001 define los requisitos que deber reunir una organización para aplicar un sistema de gestión de la calidad. Uno de los componentes fundamentales del sistema de gestión de la calidad es su documentación estructurada que muestra el funcionamiento de la organización. En la mayoría de casos, la jerarquía de esa documentación se clasifica en tres niveles:

- política, manual y objetivos de la calidad (nivel estratégico);
- procedimiento documentado (nivel táctico);
- instrucciones de funcionamiento, guías, registros (nivel operacional).

El modelo de documentación empleado depende del tamaño y de la estructura de la organización y la norma no especifica tamaños o formatos concretos para esos documentos. Los requisitos de la documentación que se determinan en la norma ISO 9001 y se detallan en los párrafos siguientes son:



- declaración de la política y los objetivos de calidad;
- manual de calidad;
- seis procedimientos documentados;
- otros documentos que la organización necesite para velar por la planificación,
- funcionamiento y control eficaces de sus procesos;
- registros exigidos por la norma.

La política de calidad define el compromiso contraído por las instancias directivas superiores de la organización respecto de la calidad y proporciona un marco para planificar los objetivos de la calidad. Todo el personal debería ser consciente de la política de calidad y de los requisitos que exige esa política

Los objetivos de calidad son indicadores de rendimiento que permiten medir el grado de satisfacción con el sistema de la calidad.

El Manual de Calidad define el ámbito de aplicación de los sistemas de gestión de la calidad y resume la documentación relacionada con la norma. Además, incluye o hace referencia a procedimientos documentados y describe cómo interactúan los procesos que componen el sistema de gestión de la calidad. El Manual de Calidad puede ser un documento de alto nivel con información poco detallada sobre la forma de realizar el trabajo o puede ser bastante detallado y combinarse con los procedimientos del sistema.

Sólo es obligatorio que los siguientes seis procedimientos documentados cumplan los requisitos de la norma ISO 9001:

1. control de documentos;
2. control de registros;
3. auditoría interna;
4. control del producto no conforme;
5. acción correctiva;
6. acción preventiva.

Puede que se necesiten otros procedimientos para explicar el trabajo que debe realizarse. Se debe hacer referencia a los procedimientos documentados en el Manual de Calidad, que la dirección debe autorizar antes de su distribución. Las organizaciones emplean diferentes métodos para documentar sus procedimientos. Éstos pueden detallarse en un texto, organigrama, lista de verificación o formulario con explicación sobre cómo debería completarse.

Las *Instrucciones de funcionamiento* pueden ser manuales operacionales, guías, formularios, especificaciones y libros de referencia que se pueden introducir en el sistema sin cambios. Deberían revisarse para garantizar que están actualizados.

Los *Registros* son documentos que nacen del uso del sistema. Deben ser legibles y fáciles de identificar, almacenar, proteger y recuperar; además, debe prescribirse su tiempo de retención y ulterior eliminación.

Un requisito importante de la norma es la auditoría interna. Las auditorías iniciales debería realizarlas un auditor con experiencia en sistemas de gestión de calidad para garantizar que todo el sistema cumple los requisitos de la norma y que se siguen los procedimientos documentados. Las auditorías pueden brindar una buena oportunidad de mejorar.



Otro requisito importante de la norma ISO 9001 es el relacionado con la definición de la responsabilidad de la gestión. Las instancias directivas superiores deben presentar pruebas de su pleno compromiso al desarrollo y a la aplicación de los sistemas de gestión de calidad y a la continua mejora de su eficacia informando sobre la importancia que reviste el hecho de satisfacer al cliente. La dirección también debe establecer la política y los objetivos de calidad, debe llevar a cabo exámenes de gestión y debe garantizar la disponibilidad de los recursos (OMM 2004).

Dentro de este ámbito, el presente documento se constituye en un manual de *Instrucciones de funcionamiento sobre el Procedimiento de Control de Calidad Automático de Datos Meteorológicos*

## 2. CONTROL DE CALIDAD AUTOMÁTICO DE DATOS METEOROLOGICOS

### 2.1. OBJETIVO

Detectar errores en el contenido de las observaciones meteorológicas que ingresan a la base central de datos del IDEAM y en la medida que sea posible establecer las respectivas correcciones o suprimirlos.

### 2.2. PRINCIPIOS GENERALES

El control de calidad es el componente mejor conocido de los sistemas de gestión de calidad, y constituye el mínimo irreducible de todo sistema. Consiste en examinar los datos de las estaciones y de los centros de datos para detectar errores y permitir que los datos sean corregidos o suprimidos. Un sistema de control de calidad debería incorporar procedimientos para retornar a la fuente de los datos a fin de verificarlos, y para evitar la repetición de errores. El control de calidad se aplica en tiempo real, pero funciona también en tiempo no real, en forma de control de calidad diferido.

El control de calidad en tiempo real se suele efectuar en la estación y en los centros de análisis meteorológico. El control de calidad diferido puede realizarse en los centros de análisis, para compilar bases de datos verificadas por segunda vez, y en los centros sobre el clima o bancos de datos, para archivarlas. En todos los casos, los resultados deberían devolverse a los encargados de la gestión de las observaciones, para realizar un seguimiento.

La *vigilancia de la calidad* o vigilancia del comportamiento es una actividad en tiempo no real consistente en examinar la efectividad de la red o del sistema de observación para detectar tendencias y deficiencias sistemáticas. Suele encomendarse a la oficina que dirige y se responsabiliza de la red o del sistema, y que puede también prescribir cambios del equipo o de los procedimientos (OMM, 1996).

En términos generales, la gestión de la calidad incluye, además de estas tareas, el control de los demás aspectos que afectan directamente a la calidad de los datos, como el equipo, la exposición, los procedimientos, el mantenimiento, la inspección, el procesamiento de datos y la formación. Estos aspectos suelen estar bajo la responsabilidad del administrador de la red, en colaboración con otros especialistas, si procede.

En la actualidad, la calidad de los datos se plantea atendiendo a las ventajas que supone un sistema completo de garantía de calidad, que incluye procedimientos orientados a una interacción continua entre todas las partes implicadas en el sistema de observación, incluidos los máximos responsables y otros como, por ejemplo, los



diseñadores y formadores, que de otro modo se habrían considerado secundarios para las operaciones relacionadas con la calidad. Los procedimientos formales prescritos por la Organización Internacional de Normalización (ISO) con respecto a la gestión de calidad y garantía de calidad, así como otros procedimientos pormenorizados que se utilizan en los sectores manufacturero y comercial, son también adecuados para los datos meteorológicos.

## 2.2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LOS DATOS

El historial de los instrumentos sobre el terreno consta de varias fases, entre ellas la de planificación con arreglo a las necesidades de los usuarios, la de selección e instalación del equipo, y las actividades operativas, de calibración, de mantenimiento y de formación. Para poder obtener datos de calidad adecuada o prescrita, habrá que adoptar medidas apropiadas en cada una de estas fases.

*Necesidades de los usuarios:* la calidad de un sistema de medición puede evaluarse estableciendo una comparación entre las necesidades de los usuarios y la capacidad de los sistemas para responder a ellas. La compatibilidad entre las necesidades de calidad de datos de los usuarios y la efectividad de los instrumentos debe tenerse en cuenta no sólo en la fase de diseño y planificación de un proyecto, sino también durante todo el funcionamiento, y la realización del sistema debe planificarse de modo que optimice las relaciones costo/beneficio y costo/efectividad. Ello implica una responsabilidad compartida entre los usuarios, los expertos en instrumentos y los expertos logísticos, a fin de estar a la altura de los factores técnicos y financieros. En particular, los expertos en instrumentos deberán estudiar las necesidades de calidad de datos de los usuarios, a fin de proponer especificaciones adecuadas a las técnicas más modernas. Esta importante fase del diseño se denomina “análisis del valor”. Cuando se pasa por alto, como frecuentemente ocurre, es probable que el costo, o las necesidades de calidad, o ambos, no sean los adecuados, hasta el punto de que el proyecto podría fracasar y los esfuerzos serían vanos.

*Especificaciones funcionales y técnicas:* la creación de esas necesidades en especificaciones funcionales y, posteriormente, en especificaciones técnicas es una tarea muy importante y compleja. Requiere un conocimiento a fondo de las necesidades de los usuarios, la tecnología de mediciones meteorológicas, los métodos de observación, y las reglamentaciones de la OMM, así como condiciones de trabajo e infraestructuras técnicas/administrativas adecuadas. Las especificaciones determinarán el funcionamiento general del sistema de medición previsto, por lo cual sus efectos sobre la calidad de los datos serán considerables.

*Selección de instrumentos:* los instrumentos deberían seleccionarse cuidadosamente, teniendo presentes la exactitud, el intervalo de valores (Anexo 1) y la resolución requeridos (Anexo 2), las condiciones climatológicas y ambientales en que se desarrollen las aplicaciones del usuario, las condiciones de trabajo, y la infraestructura técnica disponible para la formación, la instalación y el mantenimiento. Una elección inapropiada de los instrumentos puede redundar en una mala calidad de los datos, que crearía a su vez numerosas dificultades si no se descubre a tiempo, dando lugar, por ejemplo, a especificaciones inadecuadas, que ocasionarían un desgaste o una deriva excesivos.

En general, deberían utilizarse sólo instrumentos de alta calidad para las tareas meteorológicas. A este respecto, información sobre el comportamiento de diversos tipos de instrumentos se encuentra en los informes de las Intercomparaciones internacionales de instrumentos de la OMM, así como las actas de OMM/CIMO y de otras conferencias internacionales sobre instrumentos y métodos de observación.



*Pruebas de aceptabilidad:* antes de proceder a la instalación y a la aceptación, es necesario asegurarse de que los instrumentos cumplen las especificaciones originales. Los fabricantes deberían publicar los valores de comportamiento de los instrumentos y su sensibilidad ante ciertos factores influyentes; en ocasiones las autoridades de calibración certifican estos parámetros. No obstante, las intercomparaciones de instrumentos de la OMM revelan que los instrumentos pueden resultar degradados, pese a todo, por factores que afectan a su calidad y que pueden aparecer durante las fases de producción y de transporte. Los errores de calibración son difíciles o imposibles de detectar si no se tiene fácil acceso a patrones adecuados o a instalaciones de prueba y calibración apropiadas. Uno de los componentes esenciales de una buena gestión es la realización de pruebas adecuadas en condiciones de funcionamiento, antes de utilizar los instrumentos para fines operativos. Dichas pruebas pueden utilizarse tanto para determinar las características de un modelo dado como para controlar la calidad efectiva de cada instrumento. Al comprar el equipo, debería tenerse presente la posibilidad de pedir al proveedor que establezca procedimientos certificados de garantía de calidad en su organización, reduciendo con ello la necesidad de que el receptor del equipo realice pruebas de aceptabilidad. El costo adicional podría resultar compensado por una reducción en los costos de las pruebas internas o del mantenimiento operativo, o por la calidad asegurada de las operaciones posteriores en el exterior.

*Compatibilidad:* pueden aparecer problemas de compatibilidad cuando se utilizan instrumentos de características técnicas diferentes para realizar un mismo tipo de mediciones. Esto puede ocurrir, por ejemplo, al pasar de mediciones manuales a automatizadas, al incorporar nuevos instrumentos con constantes de tiempo diferentes, al utilizar una protección diferente para los sensores, al aplicar algoritmos diferentes para la reducción de datos, etc. Deberían investigarse a fondo, mediante intercomparaciones durante períodos largos, los efectos de estos cambios sobre la compatibilidad y homogeneidad de los datos.

*Emplazamiento y exposición:* la densidad de estaciones meteorológicas depende de la escala espacial y temporal de los fenómenos meteorológicos que se vayan a observar, y suele estar especificada por los usuarios o estipulada en las reglamentaciones de la OMM. Existen pruebas experimentales de que una ubicación y exposición inadecuadas pueden deteriorar seriamente la exactitud y representatividad de las mediciones.

En el Anexo 3 se presentan los criterios generales sobre el emplazamiento y la exposición, según reglamentación OMM. Convendría también prestar atención a factores externos que pueden introducir errores, como el polvo, la contaminación, la escarcha, la sal, los valores muy extremos de la temperatura ambiente, o el vandalismo.

*Errores instrumentales:* la selección apropiada de los instrumentos es una condición necesaria pero no suficiente para obtener una calidad de los datos adecuada. Ninguna técnica de medición es perfecta, y todos los instrumentos producen diversos errores sistemáticos y aleatorios. Sus efectos sobre la calidad de los datos deberían reducirse a un nivel aceptable mediante la adopción de medidas preventivas y correctivas apropiadas. Estos errores dependen del tipo de observación.

*Acopio de datos:* la calidad de los datos no depende sólo de la calidad de los instrumentos y de su correcto emplazamiento y exposición, sino también de las técnicas y métodos utilizados para obtener los datos y convertirlos en datos representativos. Convendría diferenciar entre las mediciones automatizadas y las observaciones humanas. Dependiendo de las características técnicas de un sensor, y en particular de su constante de tiempo, será necesario aplicar procedimientos adecuados de muestreo y de obtención del promedio.



La existencia de fuentes no deseadas de interferencia eléctrica externa y de ruido pueden degradar la calidad de la señal de salida del sensor, y deberían eliminarse mediante un acondicionamiento adecuado de dicha señal antes de acceder al sistema de acopio de datos.

Cuando la lectura del instrumento es manual, pueden producirse errores imputables al diseño, a los valores de instalación del instrumento o a su resolución, o una preparación inadecuada del observador. En las observaciones visuales o subjetivas, los errores pueden deberse a la inexperiencia del observador, cuando éste interpreta incorrectamente los fenómenos meteorológicos.

*Procesamiento de datos:* pueden producirse también errores imputables a las técnicas de conversión o a los procedimientos de computación aplicados para convertir los datos de los sensores en datos meteorológicos agregados. Este podría ser el caso, por ejemplo, al calcular los valores de humedad a partir de la humedad relativa o el punto de rocío, o al reducir la presión al nivel medio del mar. También pueden producirse errores durante la codificación, cifrado o transcripción de los mensajes meteorológicos, particularmente si los efectúa un observador.

*Control de calidad en tiempo real:* la calidad de los datos depende de los procedimientos de control de calidad en tiempo real que se aplican durante la adquisición y el procesamiento de los datos y durante la preparación de los mensajes para eliminar las principales fuentes de error. Estos procedimientos son específicos para cada tipo de medición, aunque suelen consistir en comprobaciones simples de la verosimilitud de los valores y de la rapidez de los cambios, y en comparaciones con otras mediciones (por ejemplo, el punto de rocío no puede ser más alto que la temperatura). Otras comprobaciones especiales verifican las observaciones introducidas manualmente y los mensajes meteorológicos. En las estaciones meteorológicas automáticas es posible detectar errores específicos del equipo mediante aparatos especiales de prueba incorporados físicamente. La aplicación de estos procedimientos es extremadamente importante, ya que algunos errores introducidos durante el proceso de medición no pueden ser eliminados posteriormente. Para una descripción general de los métodos manuales y automáticos en uso.

*Vigilancia del funcionamiento:* los procedimientos de control de calidad en tiempo real tienen limitaciones, y algunos errores pueden pasar inadvertidos (por ejemplo, la deriva a largo plazo de los sensores, o los errores en la transmisión de datos). Por ello, será necesario que los centros de análisis meteorológico y los administradores de las redes efectúen una vigilancia del funcionamiento de la red. Es importante establecer procedimientos eficaces de enlace entre los responsables de la vigilancia y los de mantenimiento y calibración, para facilitar una respuesta rápida cuando el sistema de vigilancia emita un informe de avería o de falla.

*Pruebas y calibración:* durante el funcionamiento, tanto el rendimiento como las características de los instrumentos meteorológicos cambian por diversas razones, por ejemplo el envejecimiento de los componentes del equipo, la degradación del mantenimiento, la exposición, etc. Estos factores pueden producir derivas a largo plazo o cambios bruscos de la calibración. Por esta razón, los instrumentos necesitan una inspección y calibración regular para poder proporcionar datos fiables. Para ello, es necesario disponer de patrones e instalaciones de calibración y prueba apropiadas. Se requiere también un plan de calibración y un mantenimiento de la calibración eficientes.

*Mantenimiento:* el mantenimiento puede ser correctivo (de las piezas que fallan), preventivo (por ejemplo, las tareas de limpieza o de lubricación) o de adaptación (en respuesta a nuevas necesidades o a la obsolescencia del equipo). La calidad de los datos proporcionados por un instrumento resulta considerablemente afectada por la calidad de su mantenimiento que, a su vez, depende principalmente de la aptitud del personal de



mantenimiento. Las capacidades, el personal y el equipo de la organización o dependencia responsables del mantenimiento deberán ser adecuados para los instrumentos y las redes.

Algunos factores que cabría tener en cuenta son: un plan de mantenimiento, que incluiría el mantenimiento correctivo, preventivo y de adaptación; una gestión logística; e instalaciones de reparación, prueba y servicios de apoyo. Hay que tener presente que los costos de mantenimiento del equipo pueden exceder en mucho el costo de su compra.

*Formación y educación:* la calidad de los datos depende también de las aptitudes del personal técnico encargado de las actividades de prueba, calibración y mantenimiento, y de los observadores que efectúan las observaciones. Convendría organizar programas de formación y educación y adaptarlos al sistema, con arreglo a un plan racional orientado a las necesidades de los usuarios y, especialmente, las necesidades de mantenimiento y calibración señaladas más arriba; esta consideración es especialmente importante para las estaciones meteorológicas automáticas. Al realizarse la compra del sistema, el fabricante debería estar obligado a proporcionar una amplia documentación operativa y técnica, y a organizar cursos de formación técnicos y prácticos.

*Metadatos:* un buen sistema de gestión de la calidad implica la disponibilidad de información detallada sobre el sistema de observación propiamente dicho y, en particular, sobre todos los cambios que se produzcan durante el tiempo de funcionamiento. Dicha información sobre los datos, conocida como “metadatos”, permite al operador de un sistema de observación adoptar las medidas preventivas, correctivas y de adaptación más apropiadas para mantener o mejorar la calidad de los datos.

## 2.2.2. CONTROL DE CALIDAD

En OMM (1981) se estipula que ciertos procedimientos de control de calidad deberán aplicarse a todos los datos meteorológicos destinados a intercambio internacional. Deberán someterse a dichos procedimientos los datos de nivel I y de nivel II, así como la conversión entre unos y otros. En OMM (1992) se estipula que los centros de procesamiento de datos meteorológicos deberán aplicar un control de calidad a la mayoría de tipos de informes meteorológicos intercambiados internacionalmente, a fin de verificar los errores de cifrado y codificación, la coherencia interna, la coherencia temporal y espacial, y los límites físicos y climatológicos; se especifican también la frecuencia y las fechas mínimas para la realización de los controles de calidad.

En OMM (1989) se ofrecen directrices generales sobre los procedimientos. Se pone de relieve la importancia del control de calidad en las estaciones, dado que algunos errores que se producen en éstas no pueden ser corregidos posteriormente, y se señalan las grandes ventajas de la automatización. En OMM (1993a) se ofrecen descripciones bastante detalladas de los procedimientos que podrían utilizarse en los centros de análisis numérico, además de asesoramiento sobre límites climatológicos, formas de verificación de la coherencia interna, comparaciones con estaciones vecinas y con otros análisis y pronósticos, y breves comentarios sobre las probabilidades de rechazar datos buenos y de aceptar datos falsos con distribuciones estadísticas de error conocidas.

El control de calidad se aplica en tiempo real o casi real al acopio y procesamiento de los datos. En la práctica, la responsabilidad de este proceso está repartida entre varios eslabones de la cadena de datos. Éstos pueden encontrarse en la estación, cuando se interviene manualmente y de forma directa en el acopio de los datos, o en los diversos centros donde se los procesan.



### 2.2.3 DATOS DE SUPERFICIE

- Observaciones manuales y estaciones dotadas de personal

El observador, o el oficial responsable de una estación, tendría que ocuparse de que los datos que salgan de la estación hayan pasado un control de calidad y se suministren mediante procedimientos establecidos a tal fin. Esta función específica viene a añadirse a otras funciones de mantenimiento de los equipos y de los registros; en particular:

- a) la verificación de la coherencia interna de una observación sinóptica completa o de otros tipos de observación mixta es una medida muy eficaz. Aunque, en la práctica, un observador experimentado la realiza casi mecánicamente, debería ser un requisito explícitamente indicado. Esta consideración es aplicable, por ejemplo, a las relaciones entre la temperatura, el punto de rocío y las temperaturas extremas diarias, o entre la lluvia, las nubes y el tiempo;
- b) las comprobaciones climatológicas son importantes. El observador conoce los intervalos estacionales normales de las variables en la estación, o recurre a mapas o tablas de dichos intervalos, y no debería permitir que ningún valor inhabitual pasara sin comprobación;
- c) deberán efectuarse verificaciones temporales, para asegurarse de que los cambios habidos desde la última observación son verosímiles, especialmente cuando las observaciones han sido realizadas por dos observadores diferentes;
- d) deberán verificarse explícitamente todas las operaciones aritméticas y de consulta de tablas;
- e) los mensajes y otras notificaciones deberán contrastarse con los datos originales.

- Estaciones meteorológicas automáticas - EMA

En las EMA, algunas de estas comprobaciones deberán realizarse mediante programas de computadora y verificaciones de ingeniería sobre el comportamiento del sistema.

#### Datos de altitud

Los procedimientos de control de calidad de los datos de altitud son esencialmente los mismos que para los datos de superficie. Deberían realizarse comprobaciones de coherencia interna (por ejemplo, de los gradientes verticales, o de las cizalladuras), de coherencia climatológica y temporal, y de coherencia con las observaciones de superficie normales. En las operaciones de radiosonda, es de la mayor importancia verificar de manera explícita y deliberada la calibración inicial de referencia. Deberá cotejarse también el mensaje con los datos observados. La automatización del control de calidad en la estación es especialmente útil para los datos de altitud.

### 2.2.4 CENTROS DE DATOS

Los datos deberían verificarse en tiempo real, o con el mayor grado de sincronía posible, en el primero y subsiguientes puntos en que se reciban o utilicen. Es muy recomendable aplicar las mismas comprobaciones urgentes a todos los datos, incluso a los que no se utilicen en tiempo real, ya que el control de calidad a posteriori tiende a ser menos efectivo. Naturalmente, si existen procedimientos automáticos debería hacerse uso de ellos, aunque es posible realizar un control de calidad efectivo sin computadoras, o sólo con ayuda parcial de los sistemas de computación. Como principio a seguir, habría que verificar todos los mensajes, preferiblemente en cada una de las fases de toda la cadena de datos.



Las comprobaciones realizadas en la estación suelen repetirse en los centros de datos, posiblemente en forma más elaborada, con ayuda de procedimientos automáticos. Los centros de datos, sin embargo, suelen tener acceso a otros datos de redes y pueden, por consiguiente, efectuar una verificación espacial contrastándolos con observaciones tomadas en estaciones circundantes, o con campos analizados o predichos. Este método es muy eficaz, y constituye la aportación específica de los centros de datos.

Si se encontraran errores, los datos deberían ser rechazados, o corregidos tomando como referencia la fuente original, o bien corregidos en el centro de datos por deducción. Aunque la última de estas alternativas puede introducir sin duda nuevos errores, es válida en muchas circunstancias: los datos corregidos por este medio deberían marcarse en la base de datos.

El proceso de control de calidad produce datos de calidad establecida, que después podrán utilizarse para operaciones en tiempo real y para la constitución de un banco de datos. Con todo, este proceso debería conllevar también la compilación de información sobre los errores encontrados. Es una buena práctica introducir, en el primero o subsiguientes puntos del procesamiento de los datos, un sistema que notifique inmediatamente al origen de los datos los errores encontrados, así como compilar un registro que pueda utilizar el gestor de la red para vigilar el comportamiento, como se expone más adelante. Lo mejor es realizar esta función a nivel regional, de manera que se pueda acceder fácilmente a las estaciones externas.

Los procedimientos detallados descritos en OMM (1983a) sirven como orientación para el control de calidad de datos destinados al intercambio internacional, conforme a las recomendaciones de OMM (1992).

Las EMA, en particular, requieren una especial atención en los centros de datos, ya que los sistemas de control de calidad existentes en las estaciones carecen de la flexibilidad y, posiblemente, de la fiabilidad de las operaciones manuales.

## 2.2.5 INTERACCIÓN CON LAS ESTACIONES SOBRE EL TERRENO

Para mantener la calidad es absolutamente esencial poder descubrir el origen de los errores y realizar algún tipo de corrección. Si los datos provienen de estaciones dotadas de personal, estas funciones se realizan muy eficazmente en tiempo casi real, no sólo porque los datos pueden corregirse, sino también porque puede identificarse la causa del error y evitar que se repita. En la sección dedicada a la vigilancia del comportamiento, se examinan los procedimientos que se han de realizar posteriormente en tiempo no real.

En un centro de datos u otro centro operativo, es conveniente designar a una persona para que mantenga una comunicación en tiempo casi real, y un contacto de trabajo eficaz con las estaciones sobre el terreno, de modo que se pueda recurrir a ellas cuando se descubran errores en los datos.

## 2.2.6 VIGILANCIA DEL FUNCIONAMIENTO

La gestión de una red, o de una estación, es mucho más eficaz si se mantienen constantemente registros del funcionamiento, normalmente con periodicidad diaria y mensual. El objetivo de la vigilancia del funcionamiento es examinar continuamente la calidad de las estaciones sobre el terreno y de cada sistema de observación como, por ejemplo, los barómetros o la red de radiosondas.

La vigilancia del funcionamiento presenta diversos aspectos:



- a) debería utilizarse el asesoramiento de los centros de datos para registrar el número y tipo de los errores detectados por el control de calidad;
- b) los datos procedentes de cada estación deberían compilarse en conjuntos sinópticos estructurados por períodos de tiempo. Estos conjuntos deberían utilizarse para identificar diferencias sistemáticas con respecto a estaciones vecinas, tanto en los campos espaciales como en las series cronológicas comparativas. Resulta útil realizar estadísticas del valor medio y de la dispersión de las diferencias. Para estos fines son de utilidad los métodos gráficos;
- c) deberían obtenerse informes de las estaciones sobre el terreno acerca de las fallas de los equipos u otros aspectos del funcionamiento.

Estos tipos de registro son muy útiles para identificar fallas sistemáticas de funcionamiento, y para indicar medidas correctivas. Constituyen muy buenos indicadores de gran número de factores que afectan a los datos, como la exposición o los cambios de la calibración, el deterioro del equipo, la variación de la calidad de los consumibles, o la necesidad de una nueva formación. Son especialmente importantes para mantener la confianza en el equipo automático.

Los resultados de la vigilancia del funcionamiento deberían comunicarse a las estaciones sobre el terreno, lo cual sería importante en términos de estímulo. Los resultados indican también cuándo es necesario reparar o mejorar el equipo instalado in situ.

La vigilancia del funcionamiento es una tarea ardua, y el administrador de la red le deberá asignar los recursos adecuados. En OMM (1988) se describe un sistema de vigilancia de datos desde una red EMA, utilizando una pequeña oficina con personal especializado para vigilar los datos de salida en tiempo real y para asesorar a los administradores de la red y a los usuarios de los datos. En Miller y Morone (1993) se describe un sistema con funciones análogas, en tiempo casi real, que utiliza un modelo numérico en mesoescala para realizar las pruebas espacial y temporal de los datos.

## 2.2.7 HOMOGENEIDAD DE LOS DATOS Y METADATOS

En el pasado, las redes de observación se constituían principalmente en apoyo de actividades de predicción meteorológica. En la práctica, el control de calidad estaba centrado principalmente en descubrir valores anómalos, pero raramente incorporaba verificaciones de la homogeneidad de los datos y de la continuidad de las series temporales. El repentino interés por el cambio climático, debido principalmente a la preocupación por el aumento de los gases de efecto invernadero, hizo cambiar esta situación. Las pruebas de homogeneidad de los datos han revelado que muchos de los aparentes cambios climáticos pueden ser atribuidos a la heterogeneidad de las series temporales causada únicamente por variaciones operativas de los sistemas de observación. En esta sección se intentará resumir esas causas y exponer algunas directrices sobre la información necesaria en materia de datos —metadatos— que debería proporcionarse para contribuir a la homogeneidad de los datos y a las investigaciones sobre el cambio climático.

## 2.2.8 CAUSAS DE HETEROGENEIDAD EN LOS DATOS

La heterogeneidad causada por cambios en el sistema de observación se presenta como discontinuidades abruptas, cambios graduales, o cambios de la variabilidad. Las discontinuidades abruptas se deben mayormente a los cambios de instrumentos, de emplazamiento y de exposición, a la reubicación de estaciones, a variaciones en el cálculo de promedios, a los procedimientos de reducción de datos, y a la aplicación de nuevas correcciones. Los cambios en el entorno de la estación, la urbanización, o los cambios graduales de las características de los instrumentos pueden producir heterogeneidad creciente de carácter



gradual. Los cambios de la variabilidad están causados por el mal funcionamiento de los instrumentos. Se pueden producir también heterogeneidad por variaciones en la hora de observación, por insuficiencia de las rutinas de inspección, mantenimiento y calibración, o por procedimientos de observación insatisfactorios. En una red, puede aparecer heterogeneidad por efecto de incompatibilidades de los datos. Es evidente que todos los factores que afectan a la calidad de los datos pueden también dar origen a heterogeneidad en los datos.

Un estudio histórico de los cambios experimentados por las radiosondas (OMM, 1993b) pone de manifiesto la gravedad del problema, e ilustra claramente la atención que hay que dedicar para controlarlo.

Las variaciones de los registros de temperatura en superficie que se experimentan cuando las estaciones manuales se sustituyen por estaciones meteorológicas automáticas, así como las variaciones de los registros de altitud ocasionadas por los cambios en las radiosondas constituyen casos especialmente interesantes de heterogeneidad en los datos. Estos dos casos son ya conocidos y es posible, en principio, preverlos y corregirlos; aun así, la vigilancia del funcionamiento puede servir para confirmar la efectividad de las correcciones, o incluso para obtenerlas.

## 2.2.9 METADATOS

La heterogeneidad en los datos debería evitarse, en la medida de lo posible, mediante una gestión adecuada de la calidad. Sin embargo, esto no siempre es posible, ya que algunas causas de heterogeneidad, como la sustitución de un sensor, pueden representar mejoras reales de las técnicas de medición. Es importante disponer de información sobre la presencia, el tipo y, especialmente, la cronología de toda heterogeneidad que se produzca. Provisos de esta información, los climatólogos pueden utilizar programas estadísticos apropiados para vincular los datos anteriores con los nuevos datos en bases de datos homogéneas con un alto grado de confianza. Este tipo de información existe habitualmente en forma de metadatos — información sobre los datos—, y se denomina también “historial de estación”. En ausencia de esta información, es posible que muchas de las heterogeneidades anteriormente indicadas no fueran descubiertas o corregidas. Cabe considerar a los metadatos como una versión ampliada del registro administrativo de la estación, que contiene toda la información posible sobre la puesta en marcha inicial y sobre los tipos y fechas de los cambios acaecidos durante la vida útil de un sistema de observación. Dado que los sistemas de gestión de datos mediante computadora constituirán en los años venideros un aspecto importante de los sistemas de suministro de datos, sería de desear que los metadatos estuvieran disponibles en una base de datos informatizada que permita la composición, actualización y uso de esa información.

## 2.2.10 ELEMENTOS DE UNA BASE DE DATOS DE METADATOS

Las bases de metadatos contienen información sobre la puesta en marcha inicial e información de actualización cuando se producen cambios. Incluyen principalmente:

- a) Información sobre la red:  
La autoridad operadora, y el tipo y finalidad de la red;
- b) Información sobre la estación:
  - i) información administrativa;
  - ii) ubicación: coordenadas geográficas, elevación(es) \* ;
  - iii) descripciones del entorno y de obstáculos cercanos y distantes\*;
  - iv) disposición física de los instrumentos\*;
  - v) medios: transmisiones de datos, suministro de energía, cables;
  - vi) descripción climatológica;

- c) Información sobre los distintos instrumentos:
  - i) tipo: fabricante, modelo, número de serie, principios de funcionamiento;
  - ii) características de funcionamiento;
  - iii) fecha y hora de las calibraciones;
  - iv) emplazamiento y exposición: ubicación, apantallamiento, altura sobre el suelo\*;
  - v) programa de medición o de observación;
  - vi) horas de las observaciones;
  - vii) observador;
  
  - viii) acopio de datos: muestreo, promediación;
  - ix) métodos y algoritmos de procesamiento de datos;
  - x) mantenimiento preventivo y correctivo;
  - xi) calidad de los datos.

## 2.2.11 RECOMENDACIONES PARA UN SISTEMA DE METADATOS

El desarrollo de un sistema de metadatos requiere un considerable nivel de organización interdisciplinaria, y una atención constante a su funcionamiento, particularmente mediante una datación meticulosa y exacta de los cambios en la base de metadatos.

OMM (1994) contiene un útil inventario de las necesidades al respecto, junto con ejemplos de los efectos producidos por los cambios en las actividades de observación, y con una explicación de las ventajas que conllevan los metadatos de calidad para poder obtener un registro climático fiable a partir de datos discontinuos. Los elementos funcionales básicos de un sistema para mantener una base de metadatos pueden resumirse como sigue:

- a) deberán establecerse procedimientos normalizados para reunir mediciones coincidentes respecto de todos los cambios importantes de los instrumentos, de las prácticas de observación y del emplazamiento de sensores;
- b) deberán realizarse evaluaciones de rutina de los problemas existentes en materia de calibración, mantenimiento y homogeneidad, a fin de adoptar medidas correctivas cuando sea necesario;
- c) deberá existir una comunicación abierta entre el recopilador de los datos y el investigador, que permita enviar información de respuesta para tomar conocimiento de los problemas relativos a los datos o, al menos, de las posibilidades de que ocurran, y corregirlos para mejorar o incorporar documentación en respuesta a necesidades de los usuarios inicialmente no previstas;
- d) deberá existir una documentación detallada y rápidamente accesible sobre los procedimientos, la fundamentación, las pruebas realizadas, los supuestos y los problemas conocidos que intervengan en la constitución del conjunto de datos a partir de las mediciones.

Estas cuatro recomendaciones permitirían obtener suficientes metadatos para que un usuario de los datos pudiera manipularlos, aglutinarlos y resumirlos a partir de supuestos mínimos respecto de su calidad y homogeneidad.

## 2.2.12 GESTIÓN DE REDES

Gestionar una red implica ocuparse de todos los factores que afectan a la calidad de los datos, en la sección 2.3.1. En particular, la gestión de una red deberá incorporar medidas correctivas en respuesta al funcionamiento de la red detectado por el control de calidad y la vigilancia del funcionamiento.



El concepto de red está definido en OMM (1981), y en OMM (1989) se ofrecen directrices sobre la gestión de redes en términos generales, y en particular sobre la estructura y funciones de una unidad de gestión de red. En la práctica, las redes se gestionan de maneras muy diversas, a tenor de disposiciones administrativas de ámbito local.

Es útil designar como administrador de la red a determinada persona u oficina, a la que se encomendará una responsabilidad activa en cuanto a la repercusión de los distintos factores sobre la calidad de los datos. El administrador de una red deberá contar con la colaboración de otros especialistas que se ocupen de la gestión y materialización de algunos de esos factores, y que acepten responsabilidades respecto de sus efectos sobre la calidad de los datos.

El administrador examinará regularmente los procedimientos empleados y los resultados obtenidos respecto de todos los factores que afecten a la calidad, según se expone en la sección 3.2, considerando en particular que:

- a) los sistemas de control de calidad descritos en la sección 3.3 son, desde el punto de vista operativo, esenciales en cualquier red meteorológica, y suelen recibir atención prioritaria de los usuarios de los datos y del administrador de la red;
- b) la vigilancia del funcionamiento suele estar aceptada como una de las funciones de gestión de red. Puede servir para indicar la necesidad de actuar, a la vista de los efectos de la exposición, de la calibración y del mantenimiento. Proporciona también información sobre los efectos de algunos de los demás factores;
- c) la inspección de las estaciones externas, que se describirá más adelante, es una de las funciones de la gestión de una red;
- d) el mantenimiento del equipo puede ser directamente una de las funciones de la unidad de gestión de red. Si no lo fuera, debería existir una colaboración particularmente efectiva entre el administrador de la red y la oficina responsable del equipo;

Las disposiciones administrativas deberían permitir al administrador de la red adoptar, o encargar que se adopten, medidas correctivas según aconsejen el control de calidad, la vigilancia del funcionamiento, el programa de inspección o cualquier otro factor que afecte a la calidad. De los demás factores, uno de los más importantes es la formación de los observadores y el administrador de la red debería poder influir en el contenido y en el desarrollo de los cursos, o en la definición de las necesidades de formación.

## 2.2.14 INSPECCIONES

Las estaciones externas deberían someterse regularmente a inspección, preferiblemente por observadores experimentados y expresamente designados para ello. Los objetivos consisten en examinar y mantener el trabajo de los observadores, el equipo y la exposición, así como mejorar el valor de los datos mediante un registro del historial de la estación. Al mismo tiempo, se pueden realizar diversas funciones administrativas, particularmente importantes para las estaciones con dotación de personal. Estos mismos principios son aplicables a las estaciones con personal, a las manejadas por observadores, y, en cierta medida, a las estaciones meteorológicas automáticas. Las necesidades en materia de inspección están indicadas en OMM (1981), y en OMM (1989) se ofrece asesoramiento al respecto.

Los informes proporcionados por las inspecciones formarán parte del registro de la vigilancia del funcionamiento.



Sería recomendable disponer de un procedimiento sistemático y exhaustivo, abundantemente documentado en forma de manuales de inspección y de mantenimiento, para uso de los inspectores visitantes. Los procedimientos deberían incluir los detalles de la notificación y de las actuaciones de seguimiento que se realicen posteriormente.

El inspector debería ocuparse, en particular, de los aspectos siguientes de las operaciones en la estación:

- a) Funcionamiento de los instrumentos. Los instrumentos que requieran calibración deberán verificarse, contrastándolos con un patrón adecuado. La presión atmosférica es la observación más pertinente, ya que todos los barómetros emplazados in situ pueden experimentar cierto grado de deriva. Deberán verificarse los sistemas de registro mecánico y eléctrico conforme a procedimientos establecidos. Otros equipos más complejos, como las estaciones meteorológicas automáticas y los radares, necesitan someterse a diversos tipos de verificaciones físicas y eléctricas. Los anemómetros y los abrigos para termómetro son especialmente propensos a diversos tipos de deterioro, que podrían viciar los datos. Debería examinarse el estado físico de todos los aparatos (por ejemplo, presencia de polvo, corrosión, etc.);
- b) Métodos de observación. Es fácil adquirir prácticas inadecuadas en los procedimientos de observación, por lo que convendría supervisar continuamente el trabajo de todos los observadores. La uniformidad en los métodos, en la toma de registros y en el cifrado y codificación, es esencial para poder utilizar los datos en forma sinóptica y para fines climatológicos;
- c) Exposición. Cuando sea viable, deberá documentarse y, en su momento, corregirse, todo cambio que se produzca en el entorno de la estación. Podría ser necesario cambiar el emplazamiento.

En las inspecciones de las estaciones manuales, no hay que pasar por alto la necesidad de mantener el interés y el entusiasmo de los observadores. El inspector o inspectora deberá ser prudente, informativo, entusiasta, y capaz de obtener cooperación de buen grado.

Para cada inspección debería cumplimentarse un formulario preparado para dejar constancia de la inspección. En él debería incluirse una lista de comprobación del estado y de la instalación del equipo, y de la capacidad y competencia de los observadores. El formulario de inspección podrá utilizarse también para otros fines administrativos, por ejemplo los inventarios.

Es de la mayor importancia dejar siempre constancia y tomar nota de la fecha de todos los cambios percibidos durante la inspección, a fin de poder confeccionar un historial de la estación que sea posteriormente de utilidad para estudios climáticos u otros fines.

El general, no es posible especificar una frecuencia óptima de las visitas de inspección, ni tan siquiera para un tipo particular de estación. Aquélla dependerá de la calidad de los observadores y del equipo, de la rapidez con que se alteren el equipo y la exposición, y de los cambios que se produzcan en el personal e instalaciones de la estación. Para una estación adecuadamente organizada, podría ser aceptable un intervalo de inspección de dos años. Para las estaciones automáticas, seis meses podría ser un plazo apropiado. En algunos tipos de estación habrá necesidades de inspección especiales.

Una parte del mantenimiento del equipo podrá ser efectuada por el inspector o por el grupo de inspección, en función de las aptitudes de éstos. Por lo general, debería haber un programa de mantenimiento del equipo, al igual que se hace con las inspecciones. Este tema no se examinará en el presente texto, ya que las necesidades y las posibles formas de organización son muy diversas.



### 3. PROCEDIMIENTOS DEL CONTROL AUTOMÁTICO

La finalidad del control automático es detectar errores en el contenido de las observaciones utilizadas en el IDEAM, y si es posible corregirlos o suprimirlos, mediante un sistema de verificación automático. Se efectúa el control de calidad mediante varias fases, en función de la profundidad de la verificación.

Las etapas del control físico consisten:

- a) *verificación de grandes errores*: en esta etapa se comprueba si los datos se sitúan en determinados límites;
- b) *verificación de la coherencia interna*: controlar la coherencia a través de la comparación de distintas variables de las observaciones mediante métodos estadísticos y físicos
- c) *verificación de la coherencia temporal*: controlar la coherencia a través de la secuencia temporal de información de observaciones mediante métodos estadísticos y físicos
- d) *verificación de la coherencia temporal espacial*: controlar la coherencia horizontal temporal a través de la comparación de información de observaciones cercanas y secuencias en el tiempo, mediante métodos estadísticos y físicos.

El resultado de la verificación determina las operaciones que el sistema debe seguir, los valores erróneos pueden rechazarse, corregirse o marcarse como datos censurados, por ello se establece un sistema de señalización de los errores. El programa informático debe identificar y archivar todos los informes que no pasan los criterios de control. El sistema de señalización permite decidir respecto al tratamiento ulterior del informe. Posteriormente los valores señalizados se pueden sustituir por valores verificados o calculados, o en su defecto pueden ser eliminados. También puede aceptarse el informe con los errores señalados y tener en cuenta la marcación en el tratamiento ulterior de las observaciones.

El sistema de señalización puede utilizarse así mismo para evaluar la operatividad de la estación y otros aspectos relacionados.

#### 3.1 NIVEL I O VERIFICACIÓN DE GRANDES ERRORES

En esta etapa se efectúan varias verificaciones fáciles, para tener la seguridad de que los valores son razonables de acuerdo con el comportamiento de las variables meteorológicas, de lo contrario se rechazan los datos.

En el Nivel 1 la verificación restringe las observaciones para que estén dentro de un conjunto de límites de tolerancia (límites blandos), que fueron seleccionados para el área comprendida entre los 30°N y -20°N, de acuerdo con las especificaciones físicas de la variable que determinan en algunos casos límites fijos, por ejemplo la humedad relativa es una variable acotada entre 0 y 100%, o sino, se utilizan límites climatológicos determinados estadísticamente, que pueden variar geográfica y/o temporalmente. Esos límites estadísticos pueden adoptar la forma de extremos climatológicos y/o de la media climatológica aumentada o disminuida en cierto número de desviaciones típicas. También los límites pueden estar supeditados a los códigos de la OMM, ya que la clave no admite valores fuera de esos límites, cuando estos son capturados y almacenados con este formato.

En la Tabla 1, se consigan los límites de tolerancia aplicados para la aceptación de los datos de cada una de las variables meteorológicas de superficie.

Tabla 1. Límites para la validación de los datos meteorológicos en superficie

Variable	Límites de tolerancia
Temperatura del aire (adherida, Máxima y Mínima Diaria))	-15 a 50 °C
Temperatura del punto de rocío	-20 a 40°C
Temperatura del bulbo húmedo	-20 a 50 °C
Temperatura superficial del mar	10 a 35°C
Geotemperatura	-15 a 50°C
Humedad relativa (Máxima y Mínima Diaria)	0 a 100%
Presión al nivel del mar (ajuste altimétrico)	870 a 1100 mb
Presión de la estación (barógrafo, Máxima y Mínima Diaria)	400 a 1100 mb
Dirección del viento	0 a 360 grados 0 a 15 sectores 00 a 36 y 99 código
Velocidad del viento	0 a 98 nudos 0 a 180 km/h 0 a 50 m/s
Visibilidad	0 a 20 km 00 a 50, 56 a 99 código
Precipitación 24 horas	0 a 350 mm (Código 000 a 999) (0 a 250 mm/día regiones Andina, Caribe, Orinoquia y Amazonia) (0 a 350 mm/día región Pacífica)
Precipitación 1 hora	0 a 60 mm
Brillo Solar 1 hora	0.0 a 1.0 (máximo permitido 10 décimas por hora)
Evaporación 24 horas	0 a 15.0 mm
Radiación Global 24 horas	0 a 16000 W*h/m <sup>2</sup> 0 a 1379 cal/cm <sup>2</sup> *hora
Radiación Global 1 hora	0 a 1367 W*h/m <sup>2</sup> 0 a 117.6 cal/cm <sup>2</sup> *hora
Radiación Visible instantánea	0 entre las 7 p.m. y las 5 a.m. 1 μE m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> 1 μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> 0.25 W/m <sup>2</sup>
Radiación ultravioleta UVA y UVB Integrada 24 horas	0 a 2000kJ/m <sup>2</sup> 0 a 500 W/m <sup>2</sup>
Radiación ultravioleta UVB instantánea estaciones automáticas	0.5W/m <sup>2</sup>
Radiación ultravioleta 305 nm	16 X 10 <sup>-6</sup> W/cm <sup>2</sup> nm 16 X 10 <sup>-2</sup> W/m <sup>2</sup> nm
Radiación ultravioleta 320 nm integral	82 X 10 <sup>-6</sup> W/cm <sup>2</sup> nm 82 X 10 <sup>-2</sup> W/m <sup>2</sup> nm
Radiación ultravioleta 340 nm	113 X 10 <sup>-6</sup> W/cm <sup>2</sup> nm 113 X 10 <sup>-2</sup> W/m <sup>2</sup> nm

Variable	Límites de tolerancia
Radiación ultravioleta 380 nm	202 X 10 <sup>-6</sup> W/cm <sup>2</sup> nm 202 X 10 <sup>-2</sup> W/m <sup>2</sup> nm
Ozono Total	150 a 350 U.D.
Tensión del vapor	0 a 50 hPa
Altura de las nubes más bajas	0 a 9 código
Tipo de nubes Baja (C <sub>L</sub> ), Medias (C <sub>M</sub> ), Altas (C <sub>H</sub> ) y orográficas	0 a 9 código
Fenómenos Atmosféricos o tiempo presente. Anexo 4	00 a 99 código
Tiempo pasado	0 a 9 código
Cantidad total de nubes (Total nubosidad)	0 a 9 código
Cantidad de nubes más bajas	0 a 9 código
Altura de nubes bajas	0 a 2000 metros
Altura de las nubes medias	2000 a 8000 metros
Altura de las nubes altas	6000 a 18000 metros
Angulo elevación cima nubosidad orográfica	0° a 90°
Estado del suelo	0 a 9 código

La verificación de los datos en altitud en relación con los límites son función de la zona y posiblemente de la época del año, por ello se aplican rangos amplios para esta verificación, definidos para el área comprendida entre los 30°N y -20°N. Los parámetros que se verifican son la altura geopotencial, la temperatura y la velocidad del viento.

Para los datos en altitud, en el Nivel 1 se restringen las observaciones que están dentro de un conjunto de límites de tolerancia (límites blandos) de acuerdo con las especificaciones siguientes:

- TEMPERATURA

Niveles de presión (°C)	Rango (hPa)
superficie	-15 a 50
1000	-15 a 50
850	-30 a 40
700	-45 a 30
500	-60 a 10
400	-65 a 0
300 a 100	-70 a 5
70 a 10	-70 a 5
7	-60 a 20
5	-50 a 30
3	-40 a 35
2	-40 a 40
1	-40 a 40



- **DEPRESIÓN DEL PUNTO DE ROCÍO**  
0 – 50
- **ALTURA GEOPOTENCIAL**

Niveles de presión (hPa)	Rango (metros)
superficie	
1000	0 a 800
850	0 a 2000
700	2200 a 3600
500	4500 a 6300
400	6100 a 8000
300	7300 a 10100
250	8500 a 11400
200	10000 a 13200
150	12000 a 15200
100	14000 a 18100
70	15500 a 21500
50	17700 a 23700
30	20500 a 26500
20	23300 a 30300
10	26000 a 34000
7	30700 a 36400
5	33300 a 38300
2	36600 a 42100
2	39400 a 44900
1	44900 a 50700

- **VELOCIDAD DEL VIENTO**

Niveles de presión (hPa)	Máximo (m/s)
superficie	100
1000	100
850	100
700	100
500	120
400	150
300	180
250	180
200	180
150-50	170
30-20	110
10	95
7	100
5	140
3	170

- DIRECCIÓN DEL VIENTO

0° a 360°

### 3.2 NIVEL II O VERIFICACION COHERENCIA INTERNA, TEMPORAL Y VERTICAL

En el Nivel II se verifica conjuntamente la coherencia interna, la coherencia temporal y vertical de los datos meteorológicos a través del cumplimiento de relaciones meteorológicas entre las observaciones medidas y la redundancia en las medidas en una sola estación.

En la mayor parte de los casos, la redundancia no es muy buena para hacer una verificación apropiada, por lo cual solo se podrá determinar la probabilidad de cierto valor observado. En este sentido, casi todos los métodos de control de calidad de las observaciones meteorológicas tienen carácter estadístico. Por consiguiente, la mayoría de los algoritmos para el rechazo de observaciones erróneas estarán basados en un compromiso entre el riesgo de aceptar valores erróneos y el riesgo de rechazar valores correctos, por ello, a partir de este nivel se marcan a través de una señalización de indicadores, los datos dudosos, para que sean revisados a través de un análisis más profundo y exhaustivo.

#### 3.2.1 COHERENCIA INTERNA

Para la coherencia interna, los distintos parámetro de una observación en un momento dado se verifican entre sí, y se consideran sospechosos o erróneos los que no concuerden con el resto de los datos. En la coherencia interna se tiene en cuenta principios físicos, por ejemplo, una observación de la temperatura del punto de rocío no debe exceder la observación de la temperatura en la misma estación. En algunos casos, se puede presentar redundancia de la información, de manera que se puede hacer la verificación de la coherencia interna, por ejemplo datos de la presión en el nivel de la estación y presión reducida al nivel del mar o a cualquier otro nivel permite verificar el procedimiento de reducción de la presión.

Las inconsistencias por coherencia interna se señalan con el prefijo "I" y enseguida se enumera el tipo de sospecha hallada de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Verificaciones de la coherencia interna de los datos meteorológicos de superficie

Código	Coherencia Interna
I1	Temperatura del punto de rocío o bulbo húmedo mayor que la temperatura del aire
I2	Temperatura del aire supera en 10°C la temperatura del punto de rocío o bulbo húmedo
I3	Humedad relativa inferior a 20%
I4	No hay dirección de viento pero hay velocidad del viento o viceversa
I5	Dirección del viento variable o código 99 y la velocidad es igual a 0 o mayor o igual que 0.5 m/s
I6	Para fenómenos atmosféricos con códigos entre 42 y 49 la visibilidad es superior a 1 Km o códigos entre 10 y 89 y entre 94 y 99
I7	Para fenómeno atmosférico con código 10 y la visibilidad entre 0 y 900 metros o códigos 00 y 09 ó 90 y 93
I8	Visibilidad menor a 1 km o código menor a 10 y los fenómenos atmosféricos son 04, 05, 10 a 16, 20 a 29 ó 40



Código	Coherencia Interna
I9	Visibilidad inferior a 10 km o código menor a 60 o está entre 90 y 96 y los fenómenos atmosféricos son menores al código 03
I10	Visibilidad superior a 10 km o códigos entre 60 y 89 ó 97 y 99 y los fenómenos atmosféricos entre 04 y 07 ó en 38 y 39
I11	Los fenómenos atmosféricos son códigos 11, 12, 28 ó 40 y la visibilidad inferior a 900 metros, códigos entre 00 y 09 ó 90 y 93
I12	Altura de la nube más baja está entre 0 y 1 y la visibilidad es superior a 20 km o códigos entre 70 y 89 ó 98 y 99
I13	Cantidad total de nubes menor a cantidad de nubes más bajas
I14	Cantidad de nubes más bajas es 0 y el código de tipo de nubes bajas o medias es diferente de 0 o la altura de la nubes más baja es inferior a 2500 metros o diferente del código 9
I15	La cantidad de nubes más bajas está entre 1 y 8 y el tipo de nubes bajas y medias es igual a 0
I16	La cantidad de nubes más bajas está en 9 y el tipo de nubes bajas, medias y altas es mayor o igual que cero
I17	Cundo la cantidad de nubes es igual a 9 y la altura de la base de la nube más baja es mayor o igual a 0
I18	Cuando la cantidad total de nubes es igual a 0 y el tipo de nubes bajas, medias y altas es mayor que 0
I19	Cuando la cantidad total de nubes es mayor o igual a 1 y la cantidad de nubes más bajas es igual a 0, y el tipo de nubes altas es igual a 0
I20	Cuando la cantidad total de nubes esta entre 1 y 8, y la cantidad de nubes más bajas no se puede observar -igual a -/
I21	Cuando la cantidad de nubes más bajas está entre 1 y 8 y el tipo de nubes bajas y medias es igual a 0 y el tipo de nubes altas no se puede observar o es /
I22	Cuando la cantidad de nubes más bajas es igual a 8 y el tipo de nubes bajas entre 1 y 9, y nubes medias y altas mayor o igual a 0
I23	Cuando la cantidad total de nubes mayor que 0 y menor que 9, y cantidad de nubes más bajas, tipo de nubes bajas, medias y altas igual a 0
I24	Cuando la cantidad total de nubes igual a 0 y la altura de la nube más bajas diferente a 9
I25	Cuando el tipo de nubes bajas y altas igual a 0, cantidad total de nubes diferente de la cantidad de nubes más bajas.
I26	Cuando el tipo de nubes medias y altas es igual a 0 y cantidad total de nubes diferente de la cantidad de nubes más bajas.
I27	Cuando el tipo de nubes bajas es mayor que 0 y cantidad de nubes bajas igual a 0 o igual a /
I28	Cuando el tipo de nubes medias es mayor que 0 y cantidad de nubes medias igual a 0 o igual a /
I29	Cuando el tipo de nubes bajas es igual a 0 y tipo de nubes medias es igual a /
I30	Cuando el tipo de nubes medias es igual a 0 y tipo de nubes altas es igual a /
I31	Cuando el tipo de nubes medias es igual a / y tipo de nubes altas es igual a /
I32	Cuando la cantidad total de nubes es igual a 9 y fenómenos atmosféricos menores a 16 o mayor a 18 y menor a 29, ó 36,37,40,41,42,44,46,48
I33	Cuando la cantidad total de nubes es diferente de 9 y fenómenos atmosféricos igual a 43,45,47,49
I34	Cuando la cantidad total de nubes igual a 0 y fenómenos atmosféricos igual a 03, ó14 a 17, ó 80-99
I35	Cuando la cantidad de nubes más bajas es igual a 0 y los fenómenos atmosféricos están entre 50 y 69, ó entre 81 y 99.
I36	Cuando la temperatura horaria menor que la temperatura mínima
I37	Cuando la temperatura máxima es menor que la temperatura horaria

Código	Coherencia Interna
I38	<p>Verificación de la reducción de la presión en la estación. Puede establecerse una relación entre la reducción de la altura y la reducción de la presión utilizando la ecuación hidrostática y suponiendo que hay una variación lineal de la temperatura respecto a la altura (<math>dT/dZ</math> es igual a <math>6.5^{\circ}\text{C}/\text{Km}</math>).</p> $\text{Zest} = - [(R/g) * T_m * \ln (\text{Pest}/\text{Pred})]$ <p>Donde Z red es la altura reducida, Zest es la altura de la estación, Pest es la presión en la estación, Pred es la presión reducida, R es igual a <math>0.287\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}</math>, g es igual <math>9.808\text{ m/s}</math>.</p> $T_m = \text{Test} - \gamma (H)/2$ <p>En donde <math>\gamma = 6.5^{\circ}\text{C}/\text{Km}</math> y Test es la temperatura en la estación y H elevación</p> <p>Si <math> \text{Pred}-\text{Pest}  \leq 20\text{ hPa}</math> y <math> \text{Zest}-H  &gt; 5\text{ m}</math></p> <p>Si <math> \text{Pred}-\text{Pest}  \geq 20\text{ hPa}</math> y <math> \text{Zest}-H  &gt; 0.25\text{ m}</math></p>

### 3.2.2 COHERENCIA TEMPORAL

Para verificar la coherencia en relación con el tiempo se utiliza la redundancia de la información en datos consecutivos procedentes del mismo emplazamiento geográfico. Para algunos tipos de datos, como las temperaturas se pueden verificar fácilmente a través de tasa de cambio de este parámetro con el tiempo.

Las inconsistencias de este tipo se designan por la letra “T”, seguida del numero de error, que figuran en la Tabla 3.

Tabla 3. Verificaciones de la coherencia temporal de los datos meteorológicos en superficie

Código	Coherencia temporal
T1	Tasa de cambio en la temperatura mayor que: Para zonas por debajo o igual a 1000 metros $4^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ , $7^{\circ}\text{C}/2\text{horas}$ , $9^{\circ}\text{C}/3\text{horas}$ , $15^{\circ}\text{C}/6\text{horas}$ Para zonas por encima de 1000 metros $5^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ , $9^{\circ}\text{C}/2\text{horas}$ , $12^{\circ}\text{C}/3\text{horas}$ , $21^{\circ}\text{C}/6\text{horas}$
T2	Tasa de cambio en la temperatura del punto de rocío mayor que: Para zonas por debajo o igual a 1000 metros $4^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ , $6^{\circ}\text{C}/2\text{horas}$ , $8^{\circ}\text{C}/3\text{horas}$ , $12^{\circ}\text{C}/6\text{horas}$ Para zonas por encima de 1000 metros $5^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ , $8^{\circ}\text{C}/2\text{horas}$ , $11^{\circ}\text{C}/3\text{horas}$ , $18^{\circ}\text{C}/6\text{horas}$
T3	Tasa de cambio en la presión en la estación y al nivel medio del mar mayor que: $1.5\text{ mb}/3\text{horas}$ , $2.5\text{mb}/6\text{horas}$
T4	Tasa de cambio en la velocidad del viento mayor que: $20\text{ nudos}/\text{hora}$ ó $37\text{ km}/\text{hora}/\text{hora}$ ó $10\text{m}/\text{s}/\text{hora}$
T5	El tiempo pasado es 4 en el informe actual o de referencia En los informes de las seis horas anteriores al informe actual o de referencia ninguno reporta fenómenos atmosféricos iguales a 10 a 12, 28 ó 40 a 49
T6	El tiempo pasado es 5 en el informe actual o de referencia En los informes de las seis horas anteriores al informe actual o de referencia ninguno reporta fenómenos atmosféricos iguales a 20, 50 a 59

T7	El tiempo pasado es 6 en el informe actual o de referencia En los informes de las seis horas anteriores al informe actual o de referencia ninguno reporta fenómenos atmosféricos iguales a 21, 60 a 69
T8	El tiempo pasado es 8 en el informe actual o de referencia En los informes de las seis horas anteriores al informe actual o de referencia ninguno reporta fenómenos atmosféricos iguales a 25 a 27 ó 80 a 90
T9	El tiempo pasado es 9 en el informe actual o de referencia En los informes de las seis horas anteriores al informe actual o de referencia ninguno reporta fenómenos atmosféricos iguales a 17, 29, ó 91 a 99

### 3.2.3 COHERENCIA VERTICAL

La posibilidad de verificar las observaciones meteorológicas depende de la redundancia de la información. Un ejemplo simple de redundancia es la notificación de las alturas y las temperaturas en los mensajes TEMP. La ecuación hidrostática y esta redundancia del contenido de datos pueden utilizarse para elaborar un algoritmo muy potente de control de calidad, denominado muchas veces como control hidrostático para la verificación de la coherencia vertical de los datos.

Para este tipo de coherencia se verifica el perfil de temperatura en las capas superadiabáticas, el perfil del viento se comprueba en el caso de cizalladura extrema del viento y, los geopotenciales y las temperaturas en los niveles de presión normalizados se verifican de modo hidrostático. La verificación hidrostática es bastante laboriosa y de preferencia debe efectuarse con un sistema automático.

A continuación se enumeran cada una de las banderas de señalización de las inconsistencias de coherencia vertical que se detecta y son marcadas con el prefijo "V".

#### *V1. Verificación de inversiones de temperatura razonables*

$$T_{i+1} - T_i > \epsilon_i$$

Si la diferencia entre la temperatura  $T_{i+1}$  en el nivel  $p_{i+1}$  situado por encima del nivel estándar y la temperatura  $T_i$  en el nivel estándar  $p_i$  es mayor de cierto límite  $\epsilon$ , se considera errónea por lo menos una de las temperaturas  $T_i$  ó  $T_{i+1}$  y se marcan con el código V1.

Donde:  $p_i > p_{i+1}$

El límite tiene un valor fijo en función de la posición y del espesor de la capa. En la Tabla 4 figuran los límites propuestos.

Tabla 4. Límites de las inversiones

Posición de la capa vertical	Espesor de la capa vertical	$\xi_i$ Límite de inversión máxima ( $T_{i+1} - T_i$ )
$p_i > 850$ hPa	$< 20$ hPa	1°C/hPa
$p_i > 850$ hPa	$\geq 20$ hPa	20°C
$850$ hPa $\geq p_i > 200$ hPa	$< 10$ hPa	0,8°C/hPa
$850$ hPa $\geq p_i > 200$ hPa	$\geq 10$ hPa	8°C
$200$ hPa $\geq p_i > 70$ hPa	$< 10$ hPa	2°C/hPa
$200$ hPa $\geq p_i > 70$ hPa	$\geq 10$ hPa	25°
$p_i \leq 70$ hPa	$< 10$ hPa	2,5/hPa
$p_i \leq 70$ hPa	$\geq 10$ hPa	25°

### V2. Verificación de tasas de descenso superadiabáticas

El gradiente entre dos niveles se compara con la tasa de ascenso de la adiabática seca, si el gradiente es mayor se considera la capa superadiabática. Se toman las diferencias de temperatura  $T_i$  en el nivel  $Z_i$  y la temperatura  $T_{i+1}$  en el siguiente nivel  $Z_{i+1}$  y los valores de altura para dichos niveles para determinar el gradiente y se utiliza la siguiente fórmula:

$$(T_i - T_{i+1}) / |(Z_i - Z_{i+1})| > \gamma$$

Donde:  $\gamma = 6.5^\circ\text{C/Km}$  y  $Z_i > Z_{i+1}$

Si la capa es superadiabática, se considera que por lo menos una de las temperaturas  $T_i$  ó  $T_{i+1}$  puede ser errónea y se marcan las dos temperaturas con la bandera V2.

### V3. Verificación de la coherencia de la temperatura entre los datos del nivel significativo y los datos del nivel estándar

Los datos del nivel estándar se calculan de nuevo a partir de los datos del nivel significativo y se comparan con los datos del nivel estándar disponible.

Las temperaturas se interpolan utilizando una variación lineal en  $(\ln p)$  entre los niveles significativos:

$$T_s = T_i + \frac{\ln(p_s) - \ln(p_i)}{\ln(p_{i+1}) - \ln(p_i)} (T_{i+1} - T_i)$$

El índice  $s$  se utiliza para el nivel de presión estándar y los índices  $i$  y  $i+1$  se emplean para los niveles significativos cerca de ese nivel de presión estándar.

Las fórmulas sólo se aplican cuando:

$$p_i > p_s > p_{i+1}$$

$$p_i - p_s \leq p_n$$



$$p_s - p_{i+l} \leq p_n$$

Donde:

$P_n = 150$ hPa	para los niveles de presión estándar:	1 000 - 700 hPa
$P_n = 100$ hPa	para los niveles de presión estándar:	500 - 300 hPa
$P_n = 75$ hPa	para los niveles de presión estándar:	250 - 100 hPa
$P_n = 20$ hPa	para los niveles de presión estándar:	70 - 30 hPa
$P_n = 10$ hPa	para los niveles de presión estándar:	20 - 1 hPa

Los datos recalculados del nivel estándar se comparan con los datos comunicados o disponibles del nivel estándar, y si la diferencia de temperatura es superior a 15°C para niveles inferiores a 300 hPa y situados por debajo de la tropopausa o si la diferencia es superior a 3°C para los niveles superiores a 300 hPa o situados por encima de la tropopausa, se consideran sospechosos.

#### *V4. Verificación de la coherencia de la temperatura del punto de rocío entre los datos del nivel significativo y los datos del nivel estándar*

Los datos del nivel estándar se calculan de nuevo a partir de los datos del nivel significativo y se comparan con los datos del nivel estándar disponible.

Las temperaturas del punto de rocío se interpolan utilizando una variación lineal en (ln p) entre los niveles significativos:

$$T_{ds} = T_{di} + \frac{\ln(p_s) - \ln(p_i)}{\ln(p_{i+l}) - \ln(p_i)} (T_{di+l} - T_{di})$$

El índice s se utiliza para el nivel de presión estándar y los índices i y i+l se emplean para los niveles significativos cerca de ese nivel de presión estándar.

Las fórmulas sólo se aplican cuando:

$$\begin{aligned} p_i &> p_s > p_{i+l} \\ p_i - p_s &\leq p_n \\ p_s - p_{i+l} &\leq p_n \end{aligned}$$

Donde:

$P_n = 150$ hPa	para los niveles de presión estándar:	1 000 - 700 hPa
$P_n = 100$ hPa	para los niveles de presión estándar:	500 - 300 hPa
$P_n = 75$ hPa	para los niveles de presión estándar:	250 - 100 hPa
$P_n = 20$ hPa	para los niveles de presión estándar:	70 - 30 hPa
$P_n = 10$ hPa	para los niveles de presión estándar:	20 - 1 hPa

Los datos recalculados del nivel estándar se comparan con los datos comunicados o disponibles del nivel estándar, y si la diferencia de temperatura del punto de rocío es superior a 1,5°C, se consideran sospechosos.

### *V5. Verificación de la coherencia de la altura geopotencial entre los datos del nivel significativo y los datos del nivel estándar*

Los datos del nivel estándar se calculan de nuevo a partir de los datos del nivel significativo y se comparan con los datos del nivel estándar disponible.

Las alturas de los niveles de presión estándar se obtienen por la integración de la ecuación hidrostática del nivel de la estación en los niveles de presión estándar. Si es posible se utilizan las temperaturas virtuales,  $T_i^*$  para la integración de la altura:

$$Z_s = Z_{est} + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{R T_i^* + T_{i+1}^*}{g} \ln\left(\frac{p_i}{p_{i+1}}\right) + \frac{R T_N^* + T_s^*}{g} \ln\left(\frac{p_N}{p_s}\right)$$

y N es el número de niveles significativos inferiores al nivel calculado.

También se necesitan los niveles de temperatura significativos para cumplir el requisito del cálculo de temperaturas en todos los niveles normalizados hasta  $P_s$ .

Los datos recalculados del nivel estándar se comparan con los datos comunicados del nivel estándar, y si la diferencia de altura es superior a 15 gpm, para niveles inferiores a 400 hPa o superior a 30 gpm para niveles superiores a 400 hPa, quiere decirse que la altura del nivel estándar es errónea o algunos datos utilizados del nivel significativo son erróneos y por lo tanto se marca con el índice V5.

### *V6. Verificación de la coherencia del viento entre los datos del nivel significativo y los datos del nivel estándar*

Los vientos en los niveles de presión estándar se interpolan a partir de los vientos de los niveles significativos suponiendo una variación lineal de los componentes del viento (u y v) en  $(\ln p)$  entre los niveles de viento significativos.

Los datos del nivel estándar se calculan y se comparan con los datos del nivel estándar disponible.

Los vientos zonal y meridional interpolan utilizando una variación lineal en  $(\ln p)$  entre los niveles significativos:

$$u_s = u_i + \frac{\ln(p_s) - \ln(p_i)}{\ln(p_{i+1}) - \ln(p_i)} (u_{i+1} - u_i)$$

$$v_s = v_i + \frac{\ln(p_s) - \ln(p_i)}{\ln(p_{i+1}) - \ln(p_i)} (v_{i+1} - v_i)$$

El índice s se utiliza para el nivel de presión estándar y los índices i y i+1 se emplean para los niveles significativos cerca de ese nivel de presión estándar.

Las fórmulas sólo se aplican cuando:

$$p_i > p_s > p_{i+1}$$



$$\rho_i - \rho_s \leq \rho_n$$

$$\rho_s - \rho_{i+1} \leq \rho_n$$

Donde:

$P_n = 150 \text{ hPa}$	para los niveles de presión estándar:	1 000 - 700 hPa
$P_n = 100 \text{ hPa}$	para los niveles de presión estándar:	500 - 300 hPa
$P_n = 75 \text{ hPa}$	para los niveles de presión estándar:	250 - 100 hPa
$P_n = 20 \text{ hPa}$	para los niveles de presión estándar:	70 - 30 hPa
$P_n = 10 \text{ hPa}$	para los niveles de presión estándar:	20 - 1 hPa

Si la diferencia de la velocidad del viento es superior a  $5 \text{ ms}^{-1}$ , o si la diferencia en la dirección del viento es superior a  $10^\circ$ , se considera que el viento del nivel normalizado es erróneo o que cualquiera de los vientos de los niveles significativos cercanos es erróneo y se marcan con V6.

### 3.3 NIVEL 3 – COHERENCIA ESPACIAL

La consistencia espacial de los datos meteorológicos en relación con el tiempo, denominado Nivel 3, se realiza mediante el proceso que se utiliza para el propio análisis objetivo, mediante la interpolación estadística basado en métodos como la Interpolación Óptima o métodos de análisis basado en la representación funcional.

En cada localización de la observación, la diferencia entre el valor medido y el valor obtenido en la interpolación es calculada. Si la magnitud de la diferencia es pequeña, la observación es concordante con las observaciones vecinas y se considera correcto. Si la diferencia grande, la observación que es comprobada o una de las observaciones usadas dentro la interpolación no es incorrecta. Para determinarse cuál es el caso, un reanálisis se efectúa eliminando una observación vecina cada vez hasta encontrar el dato sospechoso.

Este nivel se desarrollará en un futuro próximo, debido que se requiere de la información histórica o resultados de modelos para llevar a cabo este proceso.

#### 3.3.1 PRUEBA DE CONTIGÜIDAD

La información redundante de observaciones cercanas puede utilizarse para compararlas, utilizando métodos estadísticos del método de análisis objetivo. Se compara cada par de observaciones próximas. Si coinciden, es probable que sean ambas correctas o erróneas. Si no, una de ellas es probablemente correcta y otra errónea. Al comparar todos los pares contiguos de una determinada zona, es posible eliminar los erróneos (OMM, 1989).

Un método de selección consiste en emplear un sistema de indicadores obtenidos a través de buenas predicciones de primera aproximación, las cuales se comparan con las observaciones.

Los datos observados, como altura, temperatura, viento o presión en superficie, señalados por el símbolo  $A^o$ , se transforman en desviaciones respecto del campo de la primera aproximación,  $A^p$ , interpoladas en el punto de observación. Luego se normaliza la desviación mediante la exactitud estimada de la propia predicción de primera aproximación  $E^p$ :

$$\delta^0 = (A^o - A^p) / E^p$$

Esto es necesario porque la predicción de primera aproximación puede ser menos exacta en zonas de datos escasos, como los océanos, y no debe considerarse que las observaciones son malas porque no coinciden con una predicción incierta, Cada observación tiene su propio error estimado,  $E^o$ , que se normaliza del mismo modo:

$$\varepsilon^o = E^o / E^p$$

Después se pueden comparar las desviaciones observadas con un múltiplo predeterminado,  $ERRLIM$ , de su varianza estimada. Así, si  $\delta^{o2} > (1+\varepsilon^{o2}) * ERRLIM^2$  la observación se considera sospechosa.

Las componentes del viento deben comprobarse simultáneamente. Si

$$\frac{1}{2} (\delta_u^{o2} + \delta_v^{o2}) > (1 + \frac{1}{2} (\varepsilon_u^{o2} + \varepsilon_v^{o2})) * ERRLIM^2$$

Las dos componentes del viento deben considerarse sospechosas.

Puede ser ventajoso clasificar la magnitud de la desviación utilizando una secuencia de límites de error,  $ERRLIM_j$ . Entonces se añade el valor observado un indicador de calidad,  $j$ , determinado como sigue.

Si

$$\delta^{o2} > (1+\varepsilon^{o2}) * ERRLIM_j^2$$

Se da al indicador el valor  $j$ . Las observaciones pueden tratarse luego de distinto modo en el proceso continuo en función del indicador de calidad. La Tabla 5 es un ejemplo de ese sistema de indicadores.

Tabla 5. Ejemplo de sistemas de indicadores

Indicador $j$	$ERRLIM_j$	Calidad de la observación
1		Correcta
2	4	Probablemente correcta
3	6	Probablemente errónea
4	8	Errónea

### 3.3.2 COMPARACION CON ANALISIS

En los métodos de interpolación estadística es posible interpolar o analizar, todas las observaciones en una zona respecto a la posición de determinada observación ha de verificarse. En el procedimiento de interpolación se excluye esa observación. El valor interpolado preliminar debe corresponder a una buena aproximación de la observación. Si no, es muy probable que la observación sea errónea, y no debe utilizarse para la interpolación final en los puntos reticulares del campo de análisis. El criterio de verificación es:

$$(\delta_i^o - \delta_i^j)^2 / \varepsilon_i^o > ALIM^2$$

En donde,  $\delta_i^0$  es la desviación de la observación respecto de la primera aproximación,  $\delta_i^i$  la desviación del valor interpolado preliminar en  $i$  respecto a la primera aproximación y  $\varepsilon_i$  el error de interpolación, que se determina con el procedimiento de interpolación óptima (Anexo 5).

Se considera que un valor observado falla la verificación si no se ajusta al criterio. Si falla más de un valor observado en una zona se excluye la peor anomalía y se prueban de nuevo todas las demás. Este procedimiento puede repetirse hasta que se hayan excluido todos los datos dudosos de la interpolación final.

#### 4. CONCLUSIONES

El control de calidad efectúa una revisión de la calidad de los datos para corregir errores y/o validar los datos dudosos, mediante pruebas de límites en primera instancia y pruebas de coherencia interna, temporal y espacial de los mismos.

El Control de calidad para datos de superficie se resume en la Tabla 6, donde se enumera los niveles de control de calidad aplicados a los datos de superficie.

Tabla 6. Niveles de control de los datos de meteorológicos de superficie

Variable	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>		<i>Nivel 3</i>
	Validación	Coherencia Interna	Coherencia Temporal	Coherencia Espacial
Temperatura del aire (horaria, diaria, máxima y mínima)	X	11, 2,36,37	T1	X
Temperatura del punto de rocío	X	11, 2	T2	X
Temperatura del bulbo húmedo	X	11, 2		
Temperatura superficial del mar	X			
Geotemperatura	X			
Humedad relativa	X	13		X
Presión al nivel del mar	X	138	T3	X
Presión en la estación	X	138	T3	X
Dirección del viento	X	14,5		X
Velocidad del viento	X	14,5	T4	X
Visibilidad	X	16, 7, 8, 9, 10, 11, 12		X
Precipitación 24 horas	X			X
Precipitación 1 hora	X			
Brillo Solar 1 hora	X			
Evaporación 24 horas	X			
Radiación Global 1 hora	X			
Radiación Visible hora	X			
Radiación ultravioleta 1 hora	X			
Ozono Total	X			
Tensión del vapor	X			
Altura de las nubes más bajas	X	112, 14,17,24		



Tipo de nubes C <sub>L</sub> , C <sub>M</sub> y C <sub>H</sub>	X	114, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31		
Fenómenos atmosféricos	X	16, 7, 8, 9, 10, 11, 32, 33, 34, 35, 36	T5, 6, 7, 8, 9	
Tiempo pasado	X		T5, 6, 7, 8, 9	
Cantidad total de nubes	X	113, 14, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 33, 34		
Cantidad de nubes más bajas	X	113, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 35, 36		

En la Tabla 7 se enumera los niveles de control de calidad aplicados a los datos de altura.

Tabla 7. Niveles de control de los datos meteorológicos en altura

	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>
Variable	Validación	Coherencia Interna Vertical	Coherencia Espacial
Temperatura del aire	X	V1, 2, 3	X
Depresión o temperatura del punto de rocío	X	V4	X
Altura Geopotencial	X	V5	X
Dirección del viento	X	V6	X
Velocidad del viento	X	V6	X

## 5. BIBIOGRAFIA

Deming, W.E., 1986: Out of the Crisis: Quality, Productivity and Competitive Position. University of Cambridge Press, Cambridge.

Eliassen, A., 1954: Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field. Videnskaps-Akademiets Institutt for Vaer-og Klimaforskning, Report No. 5, 11 pp.

Gandin, L.S., 1969: Objective analysis. Lectures on numerical short-range weather prediction. Seminario de formacion profesional regional de la OMM. Moscu 1965. Gidrometeoizdat, Leningrado, U.R.S.S., 633-677.

Gandin, L.S., 1963: Objective Analysis of Meteorological Fields. Gidrometeorologicheskoe Izdatel'stvo, Leningrad, translated from Russian in 1965 by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 242 pp.

Instruments and Observing Methods Report No. 50, WMO/TD-No. 541, Ginebra. Organización Meteorológica Mundial, 1994: Homogeneity of data and the climate record (K.D. Hadeen y N.E. Guttman).

International Organization for Standardization, 1994a: Quality Management and Quality Assurance Standards: Guidelines for Selection and Use. ISO 9000.1. International Organization for Standardization, 1994b: Quality Management and Quality System Elements: Guidelines. ISO 9004.1.

Miller, P.A. y Morone, L.L., 1993: Real-time Quality Control of Hourly Reports from the Automated Surface Observing System. Eighth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, American Meteorological Society.

Organización Meteorológica Mundial, 1981: Manual del Sistema Mundial de Observación. Volumen 1: Aspectos Mundiales, OMM-Nº 544, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial, 1988: Practical experience of the operation of quality evaluation programs for automated observations both on land and over the sea (M. Field y J. Nash). Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-88), Leipzig, 16–20 de mayo de 1988, Instruments and Observing Methods Report No. 33, WMO/TD-No. 222, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial, 1989: Guía del Sistema Mundial de Observación. OMM-Nº 488, Ginebra. Organización Meteorológica Mundial, 1992: Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos. OMM-Nº 485, Ginebra.

Organización Meteorológica Mundial, 1993a: Guía del Sistema Mundial de Proceso de Datos. OMM-Nº 305, Ginebra. Organización Meteorológica Mundial, 1993b: Historical Changes in Radiosonde Instruments and Practices (D.J. Gaffen).

Organización Meteorológica Mundial, 2004: Sistema de gestión de la calidad para los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales.



Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94), Ginebra, 28 de febrero – 2 de marzo de 1994, Instruments and Observing Methods Report No. 57, WMO/TD-No. 588, Ginebra.

Richter, C.: Study of Quality Management Implications on the Instrumentation Sector, World Meteorological Organization, Study. March 2004, Geneva.

World Meteorological Organization, 2003: *Executive Council*. Fifty-Fifth Session, 26-28 May 2003. Abridged Final Report with Resolutions. WMO-No. 961, Geneva.

World Meteorological Organization, 2003: *Congress*. Fourteenth Session, 5-24 May 2003. Abridged Final Report with Resolutions. Role and Operation of National Meteorological and Hydrological Services; Quality Management; Report to plenary on item 7.2; 23.V.2003, Cg-XIV/PINK 7.2(2). WMO-No. 960, Geneva.

World Meteorological Organization, 1996: Wmo Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation Sixth Edition. WMO-No. 8, Geneva.



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES - IDEAM

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## ANEXO 1

REQUISITOS DE EXACTITUD OPERATIVA Y RENDIMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS TÍPICOS

(1) Variable	(2) Gama	(3) Resolución comunicada	(4) Modo de medición/ observación	(5) Exactitud requerida	(6) Constante de tiempo del sensor	(7) Tiempo medio de obtención	(8) Exactitud operativa alcanzable	(9) Observaciones
1. Temperatura 1.1 Temperatura del aire 1.2 Extremos de la temperatura del aire 1.3 Temp. de la sup. del mar	-60 – +60°C	0,1 K	I	±0,1 K	20 s	1 min	±0,2 K	En la exactitud alcanzable y en la constante de tiempo efectiva puede influir el diseño de la protección del termómetro contra la radiación solar
	-60 – +60°C	0,1 K	I	±0,5 K	20 s	1 min	±0,2 K	
	-2 – +40°C	0,1 K	I	±0,1 K	20 s	1 min	±0,2 K	
2. Humedad 2.1 Temp. del punto de rocío	<-60 – +35°C	0,1 K	I	±0,5 K	20 s	1 min	±0,5 K	Si se mide directamente. Tendencia ±0,1 K cuando la humedad relativa se aproxima a la saturación
	2.2 Humedad relativa	5 – 100%	1%	±3%	20 s	Temp. termómetro húmedo		
1 min						±0,2 K	Problemas de aspiración y limpieza pueden provocar grandes errores. Si se mide directamente. Tendencia a ±1% cuando la humedad relativa se aproxima a la saturación	
3. Presión atmosférica 3.1 Presión 3.2 Tendencia	920 – 1.080 hPa	0,1 hPa	I	±0,1 hPa	40 s	1 min	±3 – 5%	Hasta el nivel del mar. La presión dinámica debida al coeficiente del viento y de la temp del transductor influye mucho en la exactitud. Diferencia entre valores instantáneos
	No especificada	0,1 hPa	I	±0,2 hPa				

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
4. Nubes								
4.1 Nubosidad	0 - 8/8	1/8	I	±1/8	n/a		± 1/8	Con algoritmos de formación de nubes del período (30 s) puede estimarse automáticamente la cantidad de nubes bajas
4.2 Altura de la base de la nube	< 30 m - 30 km	30 m	I	±10 m para ≤100 m ±10% para > 100 m	n/a		≈10 m repetibilidad*	*Exactitud difícil de determinar por no existir ninguna definición de la altura de la base de nubes medida con instrumentos.
5. Viento								
5.1 Velocidad	0 - 75 m s <sup>-1</sup>	0.5 m s <sup>-1</sup>	P	±0.5 m s <sup>-1</sup> para ≤ 5 m s <sup>-1</sup> ±10% para > 5 m s <sup>-1</sup>	Cont. dist. 2 - 5 m	2 y/o 10 min	±0.5 m s <sup>-1</sup>	Promedio superior a 2 y/o 10 minutos. Dispositivos no lineales. El proceso de promediación debe concebirse minuciosamente.
5.2 Dirección	0 - 360°	10°	P	±5%	1 s	2 y/o 10 min	±5°	
5.3 Ráfagas	5 - 75 m s <sup>-1</sup>	0.5 m s <sup>-1</sup>	P	±10%		3 s	±0.5 m s <sup>-1</sup>	Debe registrarse la media más alta de 3 s.
6. Precipitación								
6.1 Cantidad	0 - >400 mm	0,1 mm	T	±0,1 mm para ≤ 5 mm ±2% para > 5 mm	n/a	n/a	±5%	La exactitud depende de la buena recogida aerodinámica del pluviómetro y de las pérdidas por evaporación en el pluviómetro calentado
6.2 Espesor de la nieve	0 - 10 m	1 cm	P	±1 cm para ≤ 20 cm ±5% for > 20 cm				Profundidad media en una zona representativa del lugar de observación.
6.3 Espesor de la acumulación de hielo en buques	No especificada	1 cm	I	±1 cm para ≤10 cm ±10% para > 10 cm				
7. Radiación								
7.1 Duración de la insitación	0 - 24 h	0,1 h	T	±0,1 h	20 s	n/a	±2%	
7.2 Radiación neta	No especificada	1 MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	T	±0,4 MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> para ≤ 8 MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ±5% para > 8 MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	20 s	n/a	±5%	
8. Visibilidad								
8.1 AOM	< 50 m - 70 km	50 m	I	±50 m para ≤ 500 m ±10 % para > 500 m		3 min	±10 - 20%	La exactitud alcanzable con instrumentos puede depender de la causa del oscurecimiento

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
8. <b>Visibilidad (corr.)</b> 8.2 AVP	50 m – 1 500 m	25 m	P	±25 m para ≤150 m ±50 m para >150 – ≤500 m ±100 m para >500 – ≤1.000 m ±200 m para >1.000 m		1 y 10 min		
9. <b>Olas</b>								
9.1 Altura de las olas	0 – 30 m	0,1 m	P	±0,5 m para ≤5 m ±10% para >5 m	0,5 s	20 min	±10%	Promedio en 20 minutos para mediciones con instrumentos.
9.2 Período de las olas	0 – 100 s	1 s	P	±0,5 s	0,5 s	20 min	0,5 s	Promedio en 20 minutos para mediciones con instrumentos.
9.3 Dirección de las olas	0 – 360°	10°	P	±10°	0,5 s	20 min	20°	Promedio en 20 minutos para mediciones con instrumentos.
10. <b>Evaporación</b>								
10.1 Cantidad de evaporación en la tina de evaporación	0 – 10 mm	0,1 mm	T	±0,1 mm para ≤5 mm ±2% para >5 mm				

NOTAS:

- En la columna 1 figura la variable básica.
- En la columna 2 se da la gama común para la mayoría de las variables; los límites dependen de las condiciones climatológicas locales.
- En la columna 3 figura la resolución más estricta determinada por el *Manual de Claves (CMM-N° 306)*.
- En la columna 4:
  - Instantánea. Con el fin de excluir la variabilidad natural en pequeña escala y el ruido, un valor medio correspondiente a un período de un minuto se considera como el mínimo y el más apropiado; los promedios para períodos de hasta 10 minutos son aceptables.
  - Promedio. Valores medios correspondientes a un período de tiempo determinado, especificados por los requisitos de codificación.
  - Totales. Totales para uno o más períodos de tiempo determinados, especificados por los requisitos de codificación.
- En la columna 5 se da el requisito de exactitud recomendado para uso operativo general. Las distintas aplicaciones pueden tener requisitos menos estrictos. El valor especificado de la exactitud requerida representa la incertidumbre del valor comunicado con respecto al valor verdadero, e indica el intervalo en que se encuentra el valor verdadero con una probabilidad especificada. El nivel de probabilidad recomendado es 95 por ciento, que corresponde al nivel de  $2\sigma$  para una distribución normal (gaussiana) de la variable. La hipótesis de que todas las correcciones conocidas se tienen en cuenta supone que los errores en los valores comunicados tendrán un valor medio (o error sistemático) próximo a cero. Todo error sistemático residual debe ser pequeño en comparación con el requisito de exactitud especificado. El valor verdadero es el valor que, en condiciones de funcionamiento, caracteriza perfectamente la variable que ha de medirse/observarse en el intervalo de tiempo, la zona y/o el volumen representativo requerido, teniendo en cuenta el emplazamiento y la exposición.
- Las columnas 2 a 5 se refieren a los requisitos especificados por la Reunión de expertos sobre los requisitos de exactitud operativa, celebrada en 1991.
- Las columnas 6 a 8 se refieren al rendimiento operativo típico especificado por el Grupo de trabajo de la CIMO sobre medidas en superficie, en 1993.



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES - IDEAM

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## ANEXO 2

REQUISITOS DE EXACTITUD OPERATIVA Y RENDIMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS TÍPICOS

(1) Variable	(2) Gama	(3) Resolución comunicada	(4) Modo de medición/ observación	(5) Exactitud requerida	(6) Constante de tiempo del sensor	(7) Tiempo medio de obtención	(8) Exactitud operativa alcanzable	(9) Observaciones
1. Temperatura 1.1 Temperatura del aire 1.2 Extremos de la temperatura del aire 1.3 Temp. de la sup. del mar	-60 – +60°C	0,1 K	I	±0,1 K	20 s	1 min	±0,2 K	En la exactitud alcanzable y en la constante de tiempo efectiva puede influir el diseño de la protección del termómetro contra la radiación solar
	-60 – +60°C	0,1 K	I	±0,5 K	20 s	1 min	±0,2 K	
	-2 – +40°C	0,1 K	I	±0,1 K	20 s	1 min	±0,2 K	
2. Humedad 2.1 Temp. del punto de rocío	<-60 – +35°C	0,1 K	I	±0,5 K	20 s	1 min	±0,5 K	Si se mide directamente. Tendencia ±0,1 K cuando la humedad relativa se aproxima a la saturación
	2.2 Humedad relativa	5 – 100%	1%	±3%	20 s	Temp. termómetro húmedo		
1 min						±0,2 K	Problemas de aspiración y limpieza pueden provocar grandes errores. Si se mide directamente. Tendencia a ±1% cuando la humedad relativa se aproxima a la saturación	
3. Presión atmosférica 3.1 Presión 3.2 Tendencia	920 – 1.080 hPa	0,1 hPa	I	±0,1 hPa	20 s	1 min	±0,3 hPa	Hasta el nivel del mar. La presión dinámica debida al coeficiente del viento y de la temp del transductor influye mucho en la exactitud. Diferencia entre valores instantáneos
	No especificada	0,1 hPa	I	±0,2 hPa	40 s	1 min	±3 – 5%	

## ESPECIFICACIÓN DE NECESIDADES DE DATOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS CENTROS DEL SISTEMA MUNDIAL DE PROCESO DE DATOS

### a) campos tridimensionales

Variable	Resolución horizontal (km)	Resolución vertical (km)	Resolución temporal (horas)	Exactitud (error de la RMS)
Viento (horizontal) <sup>1,2</sup>	100	0,1 hasta 2 0,5 hasta 16 2,0 hasta 30	3	2 m s <sup>-1</sup> en la troposfera 3 m s <sup>-1</sup> en la estratosfera
Temperatura (T) <sup>3</sup>	100	0,1 hasta 2 0,5 hasta 16 2,0 hasta 30	3	0,5 K en la troposfera 1 K en la estratosfera
Humedad relativa (HR)	100	0,1 hasta 2,0 0,5 hasta la tropopausa	3	5% (HR)

### b) campos de superficie

Variable	Resolución horizontal (km)	Resolución temporal	Exactitud (error de la RMS)
Presión	100	1 hora	0,5 hPa
Viento <sup>4</sup>	100	1 hora	2 m s <sup>-1</sup>
Temperatura	100	1 hora	1 K
Humedad relativa	100	1 hora	5%
Precipitación acumulada <sup>5</sup>	100	3 horas	0,1 mm
Temperatura de la superf. del mar	100	1 día	0,5 K
Temperatura del suelo	100	3 horas	0,5 K
Capa de hielos marinos	100	1 día	10%
Capa de nieve	100	1 día	10%
Equivalente en agua de la capa de nieve	100	1 día	5 mm
Humedad del suelo, 0–10 cm	100	1 día	0,02 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
Humedad del suelo, 10–100 cm	100	1 semana	0,02 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
Porcentaje de vegetación	100	1 semana	10% (relativo)
Temperatura del suelo, 20 cm	100	6 horas	0,5 K
Temp. en suelo profundo, 100 cm	100	1 día	0,5 K
Albedo visible	100	1 día	1%
Albedo cerca del infrarrojo	100	1 día	1%
Emisividad de onda larga	100	1 día	1%
Altura de las olas marinas	100	1 hora	0,5 m

- NOTAS:
- Exactitud especificada como error de la RMS del vector.
  - También se necesitan cada hora datos sobre el viento suministrados por satélites geoestacionarios y por perfiladores del viento.  
La resolución horizontal y vertical troposférica y la exactitud pueden alcanzarse mediante un lidar espacial de viento Doppler en una órbita heliosincrónica.
  - La altura geopotencial puede obtenerse con suficiente exactitud a partir de la T y HR especificadas.
  - Viento a 10 m sobre tierra. Sobre el mar, la altura se sitúa en la gama de 1 a 40 m (debe transmitirse con la observación).
  - Requerida principalmente para la validación de modelos; el tiempo no es fundamental.



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES - IDEAM

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## ANEXO 3

### ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

- a) los instrumentos exteriores deben instalarse en un terreno llano, aproximadamente de 10 metros por 7 metros (el recinto), cubierto de hierba baja, o en una superficie representativa de la localidad, rodeada de una cerca o estacas para impedir la entrada de personas no autorizadas. En el recinto se reserva una parcela de unos 2 metros por 2 metros para las observaciones referidas al estado del suelo y su temperatura a profundidades inferiores a su 30 centímetros;
- b) no debe haber laderas inclinadas en las proximidades, y el emplazamiento no debe encontrarse en una hondonada. Si no se cumplen estas condiciones, las observaciones pueden presentar peculiaridades de significación puramente local;
- c) el emplazamiento debe estar suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros obstáculos. La distancia entre cualquiera de esos obstáculos (incluidas las vallas) y el pluviómetro no debe ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato, y preferentemente debe cuadruplicar la altura;
- d) el registrador de luz solar, el pluviómetro y el anemómetro han de encontrarse en emplazamientos con exposiciones que satisfagan sus requisitos, y en el mismo lugar que los otros instrumentos;
- e) debe señalarse que el recinto puede no ser el mejor lugar para estimar la velocidad y dirección del viento; tal vez convenga otro punto de observación, más expuesto al viento;
- f) los emplazamientos muy abiertos, satisfactorios para la mayoría de los instrumentos, son inapropiados para los pluviómetros. En tales lugares, la captación del agua de lluvia es reducida, salvo con vientos débiles, y se necesita algún grado de protección;
- g) si el recinto de los instrumentos no permite una visión suficientemente amplia del paraje circundante, deben elegirse otros puntos para las observaciones de visibilidad;
- k) el lugar desde donde se realice la observación de las nubes y de la visibilidad debe ser lo más despejado posible y permitir la visión más amplia posible del cielo y del paraje circundante;
- i) en las estaciones costeras, conviene que la estación domine el mar abierto, pero no debe estar demasiado cerca del borde de un acantilado porque los remolinos de viento creados por éste afectarán a las mediciones de la cantidad de precipitación y del viento; la mejor manera de realizar observaciones de nubes y visibilidad durante la noche es desde un emplazamiento no afectado por luces extrañas.
- j)



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES - IDEAM

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## ANEXO 4



Código OMM 4677: ww Tiempo presente

ww 00 a 49	No hay precipitación en la estación en el momento de observación
00 a 19	No hay precipitación, niebla, niebla helada (excepto para códigos 11 y 12), tempestad de polvo, tempestad de arena en la estación (en tierra o en barco) en el momento de la observación o excepto para los códigos 09 y 17 durante la hora precedente.

Clave

- 00 No puede observarse desarrollo de nubes. Cambio característico del estado del cielo durante la hora anterior. No hay otro fenómeno importante a reportar
- 01 Las nubes en general se disuelven o disminuyen en desarrollo. Cambio característico del estado del cielo durante la hora anterior. No hay otro fenómeno importante a reportar
- 02 Estado general del cielo sin cambio. Cambio característico del estado del cielo durante la hora anterior. No hay otro fenómeno importante a reportar
- 03 Se observa en general formación o desarrollo de las nubes. Cambio característico del estado del cielo durante la hora anterior. No hay otro fenómeno importante a reportar
- 04 Visibilidad reducida por humo debido a incendios forestales, humos industriales o cenizas volcánicas
- 05 Bruma, calima, Visibilidad mayor de 3000 metros. Humedad relativa menor del 85%, excepto para estaciones costeras o marítimas
- 06 Polvo suspendido en el aire, en una extensa área no levantado por el viento en/o cerca de la estación en el momento de la observación
- 07 Polvo o arena levantados por el viento en/o cerca de la estación pero sin remolinos o torbellinos bien desarrollados ni tempestades de polvo o de arena a la vista. En el caso de barcos, olas pulverizadas por el viento
- 08 Remolinos o torbellinos de polvo o de arena bien desarrollados en/o cerca de la estación durante la hora precedente o en el momento de la observación; pero sin tempestades de polvo o de arena
- 09 Tempestad de polvo o de arena visible en el momento de la observación; o en la estación durante la hora precedente
- 10 Neblina. Visibilidad de 1000 metros o menos
- 11 Bancos de niebla baja sobre la tierra o sobre el mar, con espesor no mayor de 2 metros en la tierra y de 10 metros sobre el mar
- 12 Capa mas o menos continua de niebla baja sobre la tierra o sobre el mar, con espesor no mayor de 2 metros en la tierra y de 10 metros sobre el mar
- 13 Relámpagos visibles, sin trueno audible
- 14 Precipitación visible sin llegar a la superficie del suelo o del mar (virga)
- 15 Precipitación distante a mas de 5 km de la estación



- 16 Precipitación cercana a 5 km o menos de la estación
- 17 Tormentas eléctrica pero sin precipitación en el momento de la observación
- 18 Turbonada visible desde la estación durante la hora precedente o en el momento de la observación
- 19 Tornado o tromba marina

ww 20 a 29 Precipitación, niebla o tormenta eléctrica en la estación durante la hora precedente pero no en el momento de la observación

- 20 Llovizna no engelante (que no congela). Pero no en forma de chaparrones
- 21 Lluvia no engelante. Pero no en forma de chaparrones
- 22 Nieve. Pero no en forma de chaparrones
- 23 Lluvia y nieve. Pero no en forma de chaparrones
- 24 Llovizna y lluvia engelantes. Pero no en forma de chaparrones
- 25 Chaparrón(es) de lluvia
- 26 Chaparrón(es) de nieve o de lluvia y nieve
- 27 Chaparrón de granizo o de lluvia y granizo
- 28 Niebla o niebla helada
- 29 Tormenta eléctrica ( con o sin precipitación)

ww 30 a 39 Tempestad de polvo o de arena en el momento de la observación

- 30 Tempestad de polvo o de arena ligera o moderada en el momento de la observación. Se ha debilitado durante la hora precedente
- 31 Tempestad de polvo o de arena ligera o moderada en el momento de la observación. Sin cambio apreciable durante la hora precedente
- 32 Tempestad de polvo o de arena ligera o moderada en el momento de la observación. Ha aumentado durante la hora precedente
- 33 Tempestad de polvo o de arena fuerte en el momento de la observación. Se ha debilitado durante la hora precedente.
- 34 Tempestad de polvo o de arena fuerte en el momento de la observación. Sin cambio apreciable durante la hora precedente
- 35 Tempestad de polvo o de arena fuerte en el momento de la observación. Ha aumentado durante la hora precedente
- 36 - 39 Sin uso

ww 40 a 49 Niebla o niebla helada en el momento de la observación

- 40 Banco de niebla o niebla helada distante en el momento de la observación, pero no en la estación durante la hora precedente. El banco de niebla o niebla helada se extiende a un nivel superior a 2 metros. La visibilidad aparente dentro de la niebla es inferior a 1000 metros
- 41 Niebla o niebla helada en bancos. Se ha adelgazado durante la hora precedente. Se ha adelgazado durante la hora precedente



- 42 Niebla, cielo visible. Se ha adelgazado durante la hora precedente
- 43 Niebla, cielo no visible. Se ha adelgazado durante la hora precedente
- 44 Niebla, cielo visible. Sin cambio apreciable durante la hora precedente
- 45 Niebla, cielo no visible. Sin cambio apreciable durante la hora precedente
- 46 Niebla, cielo visible. Que ha amenazado o ha llegado a ser mas espesa durante la hora precedente
- 47 Niebla, cielo no visible. Que ha amenazado o ha llegado a ser mas espesa durante la hora precedente
- 48 Niebla y escarcha, cielo visible
- 49 Niebla y escarcha, cielo no visible

Nota: Los códigos 42 al 49 implican una visibilidad menor de 1000 metros

**ww 50 a 99 Precipitación en la estación en el momento de la observación**

**ww 50 a 59 Llovizna**

- 50 Llovizna intermitente, no engelante. Ligera en el momento de la observación
- 51 Llovizna continua no engelante. Ligera en el momento de la observación
- 52 Llovizna intermitente, no engelante. Moderada en el momento de la observación
- 53 Llovizna continua, no engelante. Moderada en el momento de la observación
- 54 Llovizna intermitente, no engelante. Fuerte en el momento de la observación
- 55 Llovizna continua, no engelante. Fuerte en el momento de la observación
- 56 Llovizna engelante, ligera
- 57 Llovizna engelante, moderada o fuerte
- 58 Lloviznas y lluvias Ligeras
- 59 Llovizna y lluvia moderadas o fuertes

**ww 60 a 69 Lluvia**

- 60 Lluvia intermitente, no engelante. Ligera en el momento de la observación
- 61 Lluvia continua, no engelante. Ligera en el momento de la observación
- 62 Lluvia intermitente, no engelante. Moderada en el momento de la observación
- 63 Lluvia continua, no engelante. Moderada en el momento de la observación
- 64 Lluvia intermitente, no engelante. Fuerte en el momento de la observación
- 65 Lluvia continua, no engelante. Fuerte en el momento de la observación
- 66 Lluvia engelante, ligera
- 67 Lluvia engelante, moderada o fuerte
- 68 Lluvia o llovizna y nieve ligera
- 69 Lluvia o llovizna y nieve moderada o fuerte

ww 70 a 79 Precipitación sólida no en forma de chaparrón(es)

ww 80 a 90 Precipitación en forma de chaparrón(es) en el momento de la observación

80	Chaparrón(es) de lluvia, ligero(s)	
81	Chaparrón(es) de lluvia, moderado(s) o fuerte(s)	
82	Chaparrón(es) de lluvia, violento(s)	
83	Chaparrón(es) de lluvia y nieve mezcladas ligero(s)	
84	Chaparrón(es) de lluvia y nieve mezcladas moderado(s) o fuerte(s)	
85	Chaparrón(es) de nieve, ligero(s)	
86	Chaparrón(es) de nieve, moderado(s) o fuerte(s)	
87	Chaparrón(es) de granizo blando o pequeño con o sin lluvia; o lluvia y nieve mezcladas. Ligero(s)	y
88	Chaparrón(es) de granizo blando o pequeño con o sin lluvia; o lluvia y nieve mezcladas. Moderado(s) o fuerte(s)	y
89	Chaparrón(es) de granizo (grande) con o sin lluvia o lluvia y nieve mezcladas, no asociados con trueno. Ligero(s)	
90	Chaparrón(es) de granizo blando o pequeño con o sin lluvia; o lluvia y nieve mezcladas. Moderado(s) o fuerte(s)	y

ww 91 a 99 Precipitación con tormenta eléctrica en la hora precedente, o en el momento de la observación

91	Tormenta eléctrica en la hora precedente pero no en el momento de la observación. Lluvia ligera en el momento de la observación	
92	Tormenta eléctrica en la hora precedente pero no en el momento de la observación. Lluvia moderada o fuerte en el momento de la observación	
93	Tormenta eléctrica en la hora precedente pero no en el momento de la observación. Nieve ligera o lluvia y nieve mezcladas o granizo en el momento de la observación	
94	Tormenta eléctrica en la hora precedente pero no en el momento de la observación. Nieve moderada o fuerte o lluvia y nieve mezcladas o granizo en el momento de la observación	
95	Tormenta eléctrica a la hora de la observación. Ligera o moderada, sin granizo pero con lluvia y/ nieve a la hora de la observación	
96	Tormenta eléctrica a la hora de la observación. Ligera o moderada, con granizo a la hora de la observación	
97	Tormenta eléctrica a la hora de la observación. Fuerte, sin granizo pero con lluvia y/ nieve a la hora de la observación	
98	Tormenta eléctrica a la hora de la observación. Combinada con tempestad de polvo o arena a la hora de la observación	
99	Tormenta eléctrica a la hora de la observación. Fuerte, con granizo a la hora de la observación	



Nota: En general se debe seleccionar la clave más alta pero la clave 17 tendrá preferencia sobre las claves del 20 al 49.



REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL  
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS  
AMBIENTALES - IDEAM

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.  
FONDO DE PREVENCIÓN Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS



## ANEXO 5

## TÉCNICA DE INTERPOLACIÓN ÓPTIMA

El método de interpolación óptima propuesto por Eliassen (1954) y más tarde por Gandin (1963, 1969) implica la reducción al mínimo (en el sentido estadístico) del error de análisis cuadrático medio. El valor analizado  $F''_g$  en cada punto de la retícula  $g$  se determina agregando una suma lineal ponderada de los residuos  $f'_i$  al valor supuesto  $F'_g$ :

$$F''_g = F'_g + \sum_{i=1}^n a_i f'_i$$

en donde  $a_i$  es el peso asignado al residuo de la  $i$ ésima observación y  $n$  es el número de observaciones que se consideran útiles para el análisis del punto reticular  $g$  (Fig. 1).

El error de análisis cuadrático medio  $\bar{E}^2$  en cada punto reticular será:

$$\bar{E}^2 = \overline{(F_g - F''_g)^2} = \overline{\left[ F_g - F'_g + \sum_{i=1}^n a_i f'_i \right]^2}$$

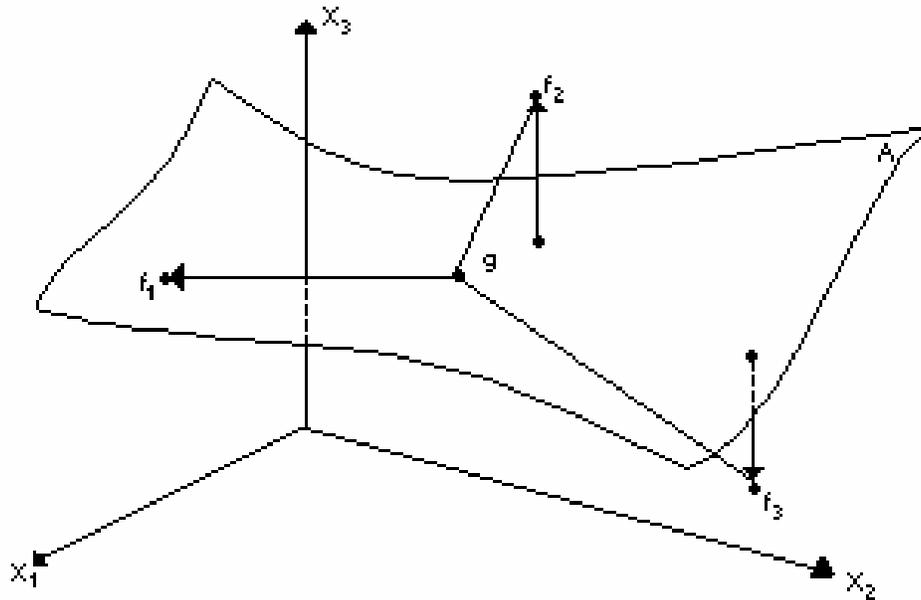
donde el  $F_g$  es el valor real del parámetro a analizar. El esquema de interpolación óptima estadística exige que los pesos de cada punto reticular se elijan de modo que el valor del error sea mínimo.

$$\sum_{j=1}^n \overline{f'_i f'_j} a'_j = \overline{f'_i f'_g} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Estas ecuaciones lineales pueden resolverse para encontrar los pesos  $a_j$  si es posible estimar las covarianzas :

$$\overline{f'_i f'_j} \quad \text{y} \quad \overline{f'_i f'_g}$$

Estas cantidades son covarianzas si  $\overline{f'_i f'_i}$  es igual a cero.



**Figura 1.** Interpolación tridimensional en el punto reticular  $g$ , según se utiliza en el análisis de interpolación óptima.  $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$ , son puntos de datos (en, por encima y por debajo de la superficie de análisis  $A$ ) y están conectados a  $g$  por vectores de posición.

Para el proceso de computación es conveniente expresar esta serie de ecuaciones en la siguiente forma normalizada:

$$\sum_{j=1}^n \mu_{ij} a'_j = \mu_{gi} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

en donde  $\mu_{ij} = \frac{\overline{f'_i f'_j}}{(\overline{f'^2_i f'^2_j})^{1/2}}$  y  $a'_j = (f'^2_i / f'^2_g) a_j$

El término  $\mu_{ij}$  es la correlación entre el residuo del  $i$ º emplazamiento de observación y el de  $j$ º emplazamiento. El término  $\mu_{gi}$  es la correlación entre el residuo verdadero y el punto reticular (cantidad que se ha de estimar) y el residuo de la  $i$ º emplazamiento de la observación. Esta correlación es solo una función del emplazamiento y depende de las características estadísticas del campo de primera aproximación  $F'$ , así como del campo real  $F$ . En los sistemas operativos de interpolación óptima se adoptan números supuestos simplificados acerca de la



naturaleza de la correlación  $\mu$  , que esta representada por una función analítica de la distancia entre los dos emplazamientos implicados. Este supuesto significa que el campo que se analiza es estadísticamente homogéneo e isótropo, lo que desafortunadamente no es el caso de numerosos parámetros meteorológicos.

En los esquemas de interpolación óptima que usa observaciones a niveles diferentes del nivel casi horizontal del análisis, se requiere la función de correlación tridimensional. Las funciones de correlación en tres dimensiones se obtienen como producto de una función bidimensional de la distancia horizontal multiplicada por una función de una dimensión de la diferencia de altura entre dos puntos.

La interpolación óptima puede aplicarse a cualquier campo escalar cuando se conocen las características de los errores y las correlaciones con ese campo. Sin embargo, el geopotencial es el único parámetro meteorológico que casi satisface las hipótesis restrictivas de homogeneidad e isotropía. Por eso se emplea una forma de interpolación óptima, denominada análisis de variables múltiples (Gandin, 1963), para el análisis de los campos de viento y temperatura.

La optimización estadística se efectúa del mismo modo que la optimización para una sola variable , excepto en el hecho de que las expresiones relativas al error de análisis para cada parámetro se reducen al mínimo simultáneamente. Es necesario especificar todas las autocorrelaciones cruzadas posibles para determinar los pesos.

El análisis del campo de viento plantea un problema especial, porque el cálculo de las covarianzas es difícil porque no es isótropo. Es común el supuesto geostrofico para establecer una relación entre las correlaciones de viento y las correlaciones de altura. La función de correlación para la temperatura puede especificarse en términos de la correlación del geopotencial mediante la ecuación hidrostática.

Es posible efectuar un análisis totalmente tridimensional de variables múltiples de los campos de masa y movimiento siempre que puedan especificarse las funciones de correlación del geopotencial, las covarianzas de los errores y los errores de observación. El tamaño de la matriz de covarianza guarda relación directa con el número de observaciones situadas en el sector de influencia alrededor de cada punto reticular. Maleschko y Progodich (1964) han mostrado que el error de interpolación alcanza un mínimo en unas 6 u 8 observaciones y no muestra ninguna mejora cuando se incluyen más estaciones.