HEYMAR ARANCIBIA SUÁREZ

**USO DO MÉTODO COMPACTO PARA CALIBRAÇÃO
DE ESTAÇÕES TOTAIS**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Área: Infraestrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Irineu da Silva

São Carlos
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca – ESSC – USP.

	Suarez, Heymar Arancibia
S939u	Uso do Método Compacto para calibração de estações totais/ Heymar Arancibia Suarez; Orientador: Prof. Dr. Irineu da Silva. São Carlos, 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infraestrutura de Transportes -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014. 1. Calibração. 2. Instrumentação topográfica e geodésica. 3. Erros instrumentais. 4. Incerteza.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **HEYMAR ARANCIBIA SUÁREZ**.

Título da dissertação: "Uso do método compacto para calibração de estações totais".

Data da defesa: 18/08/2014

Comissão Julgadora:

Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**
(Orientador Designado)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Edvaldo Simões da Fonseca Junior**
(Escola Politécnica/EP-USP)

Profa. Dra. **Maria Teresa Françoso**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Resultado:

Aprovado

APROVADO

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Protocolo nº 123456789
Serviço de Registro e Arquivo
Data de Registro: 18/08/2014
Assinatura: [Assinatura]

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Ricardo e Mimi, por tudo que eles representam na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida.

A minha querida esposa, Yeanine Parada Cuellar por compartilhar comigo, todos os dias, seu amor, carinho e alegria, e por me incentivar a sempre alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Ricardo Arancibia Ramírez e Nestoria Suárez Banegas, pois sem a dedicação, o amor, o incentivo e a confiança que eles me passam, eu não chegaria até aqui.

A meus irmãos, Alex e Miguel Arancibia Suárez, pelo companheirismo, amizade e apoio em todas as etapas de minha vida.

Ao Professor Irineu da Silva, pela orientação e aprendizado no decorrer da pesquisa e o suporte durante o período de mestrado.

Aos membros da Banca de Qualificação, os professores Ana Paula Larocca e Paulo César Lima Segantine, pelas importantes contribuições para o desenvolvimento e continuidade da pesquisa.

Ao pessoal da Empresa Quimica Suiza do Peru, pela cooperação durante o processo de coleta de dados.

Agradeço a CNPq pela bolsa concedida para realização desse estudo.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes da EESC/USP.

Pelo apoio na pesquisa, agradeço a Mateus Brito Gama, Fernando Piva e Antônio Carlos Lima Carvalho.

Aos grandes amigos que tive a oportunidade de conhecer e conviver durante o período de mestrado. Agradeço a Antônio Carvalho, Piva, Artur, Andressa, Andrea, Elievan e Nil pela amizade e momentos de descontração. Aos amigos da turma de mestrado de 2012, Edgar, Javier, Fernando Velázquez, Glaucia, Diego Neris e Conrado.

Aos amigos do Departamento, Gabriela, Marcela, Fernando Sorriso, Diego Camargo, Diego Martins, Murilo, Cassiano... Muito obrigado a todos.

RESUMO

SUAREZ, H. A. **Uso do Método Compacto para calibração de estações totais**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

O uso correto de todo instrumento topográfico e geodésico tem como objetivo principal garantir a qualidade das medições. Para este fim é necessário realizar uma série de procedimentos periódicos de verificação da qualidade denominados de calibração. Diante do exposto, neste trabalho são apresentados os principais conceitos relacionados à qualidade nas medições e ao processo de calibração, tendo como objetivo principal, realizar uma análise e a descrição do uso do Método Compacto, como uma alternativa para calibração de estações totais em ambiente laboratorial. Durante a pesquisa, foi estabelecido um conjunto de padrões de calibração, aplicáveis a estações totais. Para garantir a aplicabilidade do método foi realizado um trabalho em conjunto com o laboratório de calibração de instrumentos topográficos da empresa Química Suiza, localizado na cidade de Lima, Peru, para relatar as dificuldades da instalação do Método Compacto naquela empresa, os recursos necessários e as vantagens do uso do método. Apresenta-se, também um exemplo prático do uso do Método Compacto, em que foram avaliados os resultados obtidos no laboratório, com os dados mostrados em uma planilha eletrônica desenvolvida com base na norma ISO 17123:2001. Mediante este processo de comparação foi estabelecida a viabilidade da utilização do Método Compacto em um laboratório de calibração de estações totais.

Palavras-chave: Calibração, instrumentação topográfica e geodésica, Erros instrumentais, Incerteza.

ABSTRACT

SUAREZ, H. A. **Using the Compact method for calibration of total stations.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

The correct use of all topographic and geodetic instrument aims to ensure the quality of the measurements. For this purpose it is necessary to perform a series of periodic quality checking procedures called procedures of calibration. According to it, this work presents the main concepts related to quality measurements and calibration process, having as main goal, to analyze and make a description of the use of the Compact Method, as an alternative to calibration of total stations in a laboratory environment. During the research, a set of calibration standards, applicable to total stations were established. To ensure the applicability of the method, the work was done among the laboratory of calibration of surveying instruments Química Suiza company, located in Lima , Peru , to report difficulties installing the Compact Method in that company, the resources needs and advantages of using the method. Also, a practical example of using the Compact Method is being presented, in which the results obtained in the laboratory were evaluated with the data displayed in a spreadsheet developed based on ISO 17123:2001 standard. Through this comparative process, it was established the feasibility of using the Compact Method in a laboratory calibration of total stations.

Keywords: calibration, topographic and geodetic instrumentation, instrumental errors, Uncertainty.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Considerações iniciais	17
1.2	Objetivos	18
1.3	Objetivos Complementares	18
1.4	Justificativa e motivação da pesquisa	19
1.5	Estrutura da dissertação	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Termos usados na pesquisa	21
2.2	Conceitos relacionados à pesquisa	23
2.2.1	Qualidade	23
2.2.2	Qualidade na mensuração	24
2.2.3	Determinação das incertezas na medição de ângulos e distâncias	25
2.2.4	Calibração	26
2.2.5	Laboratórios de calibração	32
2.2.6	Verificação de estações totais (ângulos e distâncias)	36
2.2.7	Trabalhos anteriores	38
3	INSTRUMENTAÇÃO USADA NA PESQUISA	43
3.1	Estações totais	43
3.1.1	Partes principais das estações totais	45
3.2	Prismas refletores de vidro	49
3.3	Fitas refletoras adesivas	50
3.4	Constante do prisma	51
3.5	Colimadores	53
3.5.1	Principais componentes de um colimador	54
3.6	Barômetro	55
3.7	Termo higrômetro	56
4	NORMA INTERNACIONAL ISO-17123:2001 - PROCEDIMENTO DE CAMPO PARA VERIFICAR INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS	57
4.1	Introdução	57
4.2	Procedimento para o teste simplificado	58
4.3	Procedimento para o teste completo	58
4.4	Teste estatístico	59

4.5	Configurações físicas para o teste de campo de direções horizontais _____	59
4.6	Configurações físicas para o teste de ângulos verticais _____	60
4.7	Configurações físicas para o teste de medidores eletrônicos de distância (MED ISO 17123:2001-4) _____	61
5	MÉTODO PROPOSTO _____	63
5.1	Descrição dos principais erros que afetam as medições com estações totais. _____	63
5.1.1	Tipos de erros _____	63
5.1.2	Fontes de erros _____	64
5.1.3	Erros instrumentais relacionados às medições de ângulos _____	66
5.1.4	Erros instrumentais relacionados aos Medidores Eletrônicos de Distâncias (MED) _____	68
5.2	Incertezas das medições _____	69
5.2.1	Identificação das fontes de incertezas _____	70
5.2.2	Incerteza expandida _____	71
5.3	Descrição do Método Compacto _____	72
5.3.1	Laboratório _____	73
5.3.2	Temperatura _____	73
5.3.3	Refração _____	73
5.3.4	Pessoal autorizado para a realização do processo de calibração _____	74
5.3.5	Instrumentação usada _____	74
5.3.6	Layout do laboratório _____	79
5.3.7	Configuração das medidas angulares zenitais e medidas horizontais _____	80
5.3.8	Configuração necessária para a realização das medições de distâncias _____	87
5.3.9	Procedimentos de medição _____	91
5.3.10	Estabilidade da linha base _____	97
5.3.11	Intervalo da constante aditiva _____	97
5.3.12	Determinação das distâncias de referência. _____	97
5.3.13	Inspeção da linha base da estação de medida _____	98
5.4	Desenvolvimento da planilha eletrônica de cálculo baseado na ISO 17123:2001-3 _____	98
5.4.1	Cálculo de precisão das medições de direções horizontais _____	99
5.4.2	Cálculo de precisão das medições de ângulos verticais _____	101
5.4.3	Cálculo de precisão das medições de distâncias _____	104
5.4.4	Uso do Método Compacto aplicado em um exemplo prático _____	106
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES _____	111

6.1	Conclusões	111
6.2	Recomendações	112
7	REFERÊNCIAS	115
	ANEXO A	119
	ANEXO B	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Processo de calibração	26
Figura 2-2 Hierarquia do sistema metrológico	33
Figura 2-3 Rastreabilidade, calibração e verificação	37
Figura 3-1 Partes principais de uma estação total	44
Figura 3-2 Sistema de eixos de uma estação total	45
Figura 3-3 Sistema de codificação absoluto	47
Figura 3-4 Modelo de limbo incremental (relativo)	47
Figura 3-5 Base niveladora Leica modelo GDF 122	48
Figura 3-6 Elementos de medição eletrônica de distâncias	49
Figura 3-7 Prisma Leica modelo GPR1	50
Figura 3-8 Fita refletiva Leica	51
Figura 3-9 Prismas de reflexão total	51
Figura 3-10 Prismas e constantes aditivas	52
Figura 3-11 Ajuste infinito do colimador	53
Figura 3-12 Ilustração de um telescópio em um colimador	54
Figura 3-13 Principais componentes de um colimador	55
Figura 3-14 Barômetro com resolução de 0,5 mbar	56
Figura 3-15 Termo higrômetro digital marca Cotronic	56
Figura 4-1 Configuração para medições de direções horizontais	60
Figura 4-2 Configuração para medições de ângulos verticais	60
Figura 4-3 Configuração para medições de distâncias	61
Figura 5-1 Erros relacionados ao sistema de eixos das estações totais	67
Figura 5-2 Colimador	74
Figura 5-3 Base niveladora	75
Figura 5-4 Prisma circular	75
Figura 5-5 Fitas refletivas	76
Figura 5-6 Estação total Leica TC1201+	77
Figura 5-7 Espelho refletor marca Leica	78
Figura 5-8 Barômetro digital	78
Figura 5-9 Termo higrômetro Mannix	79
Figura 5-10 Disposição horizontal dos colimadores para medições angulares	80
Figura 5-11 Estação total montada em um pilar de aço	81

Figura 5-12 Disposição vertical dos colimadores para medições angulares _____	82
Figura 5-13 Distribuição real dos colimadores no Laboratório de Calibração Química Suiza, Lima, Perú _____	84
Figura 5-14 Localização dos 5 postes unidos _____	85
Figura 5-15 Colimador 1 montado no suporte _____	86
Figura 5-16 Colimador 2 montado em no suporte _____	86
Figura 5-17 Estação de medição de ângulos Método Compacto _____	87
Figura 5-18 Configuração física para avaliar medições de distâncias _____	89
Figura 5-19 Prisma e espelho localizado em prédios próximos _____	90
Figura 5-20 Planilha para cálculo da precisão das medidas horizontais _____	101
Figura 5-21 Planilha para cálculo da precisão dos ângulos verticais _____	103
Figura 5-22 Planilha de cálculo de precisão para distâncias _____	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Classificação de estações totais _____	44
Tabela 5-1 Padrões de distâncias usados na Química Suíza _____	89
Tabela 5-2 Limites estabelecidos para a constante aditiva _____	97
Tabela 5-3 Resultados para medições de ângulos _____	108
Tabela 5-4 Resultados para medições de distâncias _____	108

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A medição de ângulos e distâncias atualmente tornou-se uma tarefa fácil com o uso de estações totais, mas o resultado da medição realizada é só uma aproximação ou estimativa do mensurando. Por esta razão ele deve ser acompanhado de um valor quantitativo que nos forneça uma ideia de sua qualidade, de modo que aqueles que o utilizem possam avaliar sua confiabilidade. Em outras palavras, há a necessidade de um parâmetro que caracterize a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando.

Sem a indicação da incerteza, os resultados das medições não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos em uma especificação ou norma. Portanto, é necessário que exista um procedimento de rápida aplicação, fácil compreensão e ampla aceitação para caracterizar a qualidade de um resultado de uma medição, isto é, para avaliar e expressar a incerteza do mesmo (INMETRO, 2008).

Com o parâmetro da incerteza estabelecido é possível comparar os resultados das indicações com os fornecidos por um padrão. Procedimento de comparação visa manter e verificar o funcionamento adequado dos instrumentos de medição, cumprir com os requerimentos estabelecidos pelas normas de qualidade e por último garantir a fiabilidade e rastreabilidade das medições.

A calibração não é um conceito novo, e remonta à época na qual os instrumentos eram comparados de maneira direta contra os padrões da época para garantir a qualidade e confiabilidade das medições realizadas. Em outras palavras, é simplesmente o processo de comparação entre o que indica o instrumento e o que deveria indicar, de acordo a um padrão de referência com valor conhecido. Desta definição é possível dizer que para calibrar um instrumento ou um padrão, é necessário dispor de outro de melhor precisão o qual proporcione o valor verificável a ser comparado com a indicação dada pelo instrumento a calibrar. Este procedimento de comparação é realizado mediante uma cadeia ininterrupta de comparações, até chegar ao padrão primário o qual é conhecido como rastreabilidade.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é analisar e descrever o Método Compacto, como alternativa para a calibração de estações totais em ambiente laboratorial ou instituições com espaço limitado, garantindo a rastreabilidade das ações.

1.3 OBJETIVOS COMPLEMENTARES

Os objetivos complementares desta dissertação são:

- Apresentar as principais normas e conceitos relacionados à qualidade e calibração de instrumentos topográficos e geodésicos;
- Descrever as configurações necessárias na montagem do Método Compacto para atingir os requisitos das normas internacionais estabelecidas para este fim;
- Apresentar as vantagens dos procedimentos de laboratório descritos no Método Compacto, comparando-os com os procedimentos de campo estabelecidos na norma ISO 17123:2001 para verificação da precisão na medição de ângulos e distâncias;
- Usar o Método Compacto para determinar a precisão de estações totais apresentando um exemplo prático;
- Desenvolver uma planilha de cálculo baseada na norma ISO 17123:2001 para classificar e determinar a precisão de estações totais e determinar a constante aditiva dos medidores eletrônicos de distâncias (MED);
- Realizar um exemplo prático aplicando o Método Compacto, comparando os resultados obtidos no laboratório, com os resultados obtidos pelos métodos convencionais;
- Realizar um trabalho em conjunto com o Laboratório de Calibração de Instrumentos Topográficos da empresa Quimica Suiza, localizado em Lima, Peru,

para relatar as dificuldades da instalação do Método Compacto na referida empresa, os recursos necessários e as vantagens do uso do método.

1.4 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

A principal justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa surge da necessidade que os usuários de instrumentos topográficos e geodésicos têm de garantir a qualidade das medições realizadas com Estações Totais. Além disso, destacam-se ainda:

- Cumprir com requisitos específicos dos governos, das empresas e, particularmente, dos usuários, de modo de garantir a qualidade das medições estabelecidos por normas de qualidade;
- Garantir a qualidade das medições realizadas com estações totais, oferecendo rastreabilidade e confiabilidade dos processos de mensuração;
- As normas internacionais para verificar instrumentos topográficos e geodésicos são pouco viáveis, devido ao elevado custo na montagem das instalações no campo para calibração de estações totais, além do tempo e pessoal necessário para realizar este processo. Por esse motivo surge a necessidade de estudos de calibração de estações totais em ambiente laboratorial;
- Atender à crescente demanda por certificados de calibração que garantam a qualidade das medições feitas com estações totais sejam elas novas ou usadas. Muitas empresas almejam a obtenção de certificados que garantam a confiabilidade, rastreabilidade e reprodutibilidade das medições realizadas com os seus instrumentos, bem como a confiabilidade destes para projetos de interesse público e privado.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos. O capítulo 1 apresenta uma introdução do tema da pesquisa, os objetivos gerais, complementares e a justificativa da pesquisa. O segundo capítulo reúne os principais conceitos e informações encontrados na

literatura, que serviram para contextualizar a pesquisa, bem como fundamentar as discussões dos resultados e conclusões. No capítulo 3 é descrito cada um dos instrumentos usados na pesquisa. No quarto capítulo é realizada a descrição da norma ISO 17123:2001 e é analisado o uso para a verificação de instrumentos topográficos. No capítulo 5, é descrito o método utilizado na pesquisa, contendo as etapas que foram desenvolvidas, destacando-se os principais erros analisados durante a verificação de estações totais. Foi realizada uma análise da forma a expressar as incertezas nas medições de ângulos e distâncias. Na sequência foi analisado o Método Compacto, com os problemas e dificuldades que podem acontecer no momento da implantação. Por último foi realizado um exemplo prático da utilização do Método Compacto cujos resultados foram analisados na planilha Excel desenvolvida para este fim. No último capítulo são apresentadas as conclusões e as recomendações para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo consiste em uma reunião de conceitos, dados e normas encontradas na literatura, sobre o tema em debate, que servem para fundamentar a pesquisa. A revisão realizada neste trabalho inicia abordando os principais conceitos relacionados com a pesquisa, passando pelos trabalhos realizados na busca da qualidade na mensuração, tanto no âmbito brasileiro, quanto no âmbito internacional. Também são discutidas questões relacionadas com as principais normas, padrões internacionais, e requerimentos já estabelecidos para garantir a qualidade das medições realizadas com estações totais. Por último é apresentada uma série de trabalhos anteriores que abordaram e discutiram temas relacionados à calibração e verificação de estações totais.

2.1 TERMOS USADOS NA PESQUISA

Para uma melhor compreensão do texto serão apresentados os termos técnicos que envolvem a calibração de estações totais, já que é frequente encontrar a utilização incorreta destes em muitos documentos da área.

De acordo com Ruiz Armenteros, García Balboa e Mesa Mingorance (2010) existe uma série de termos relacionados com a incerteza das medições como erro, precisão e exatidão que devem ser tratados e usados de maneira correta como são definidos em documentos internacionais.

A definição de cada um desses foi extraída do VIM Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (INMETRO, 2012).

- **Ajuste de um sistema de medição (VIM 3.11)**

O ajuste de um sistema de medição é o conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores de uma grandeza a ser medida.

- **Cadeia de rastreabilidade metrológica (VIM 2.42)**

A cadeia de rastreabilidade metrológica é a sequência de padrões e calibrações utilizada para relacionar um resultado de medição a uma referência.

- **Erro de medição (VIM 2.16)**

O erro de medição é a diferença entre um valor medido de uma grandeza e um valor de referência.

- **Exatidão (VIM 2.13)**

Exatidão da medição é definida como o grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando.

- **Medição (VIM 2.1)**

A medição é o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza. A medição implica em comparar grandezas ou contar entidades.

- **Mensurando (VIM 2.3)**

Grandeza que se pretende medir.

- **Metrologia (VIM 2.2)**

A metrologia é a ciência da medição e suas aplicações, abrangendo todos os aspectos teóricos e práticos, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação.

- **Precisão (VIM 2.15)**

Precisão é o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas.

- **Rastreabilidade metrológica a uma unidade de medida (VIM 2.43)**

Rastreabilidade metrológica em que a referência é a definição de uma unidade de medida através da sua realização prática.

- **Resultados da medição (VIM 2.9)**

O resultado de medição é o conjunto de valores atribuídos a um mensurando, juntamente com toda outra informação pertinente disponível.

2.2 CONCEITOS RELACIONADOS À PESQUISA

2.2.1 Qualidade

Em um mercado mundial cada dia mais globalizado, que faz com que as empresas busquem a competitividade, os Sistemas de Gestão de Qualidade (SGQ) estão ganhando mais espaço como uma forma de garantir a qualidade e confiabilidade dos bens e serviços oferecidos.

Segundo o dicionário Houaiss (2004), qualidade é o atributo que determina a essência ou a natureza de algo ou alguém. Pelo fato do termo qualidade ser subjetivo, os SGQ encontram-se organizados por uma instituição internacional não governamental, chamado ISO - *International Organization for Standarization*.

A ISO é uma rede global que identifica as melhores normas internacionais que são requeridas pelas empresas, governos e até mesmo a sociedade. Ela desenvolve as normas em parceria com as áreas ou setores que vão fazer uso das mesmas, apresentando procedimentos claros e concisos para serem usados no mundo todo (ISO, 2011).

A ISO foi criada no ano 1947, e desde então já publicou mais de 19500 normas internacionais abrangendo quase todos os aspectos da tecnologia e negócios, desde segurança alimentar até computadores, da agricultura aos serviços de saúde, conseguindo impactar de maneira direta ou indireta em nossas vidas.

A normalização é a atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto (ABNT, 2006).

Uma norma ou padrão é uma regra ou exigência determinada por consenso dos usuários, e que aceita como válidos os melhores critérios para um produto, processo ou

serviço. Os benefícios gerais de um padrão são segurança, qualidade, adaptabilidade e consistência através de fronteiras internacionais.

No ano 2002 Steve Y. W. (2002) realizou uma análise do papel que cumprem os agrimensores na implantação da série ISO 9000. Foi realizada uma introdução dos papéis e das tarefas que devem realizar os agrimensores para garantir a qualidade na administração de padrões nas empresas da área da construção civil.

2.2.2 Qualidade na mensuração

Cada dia aumenta o número de empresas de topografia, entidades governamentais, universidades e empresas de engenharia que contam com certificações **NBR ISO 9001:2000**. Estas normas internacionais estabelecem a estrutura de um SGQ que, entre outras coisas, tem como exigência que todos os instrumentos de medição sejam verificados e calibrados regularmente. Estas exigências geram uma demanda crescente por certificados de calibração e por procedimentos de verificação.

Os instrumentos topográficos e geodésicos, normalmente, são fabricados baseados nas melhores normas e padrões de qualidade, de maneira que possam manter as suas especificações e características apresentadas pelos fabricantes durante toda sua vida útil ou durante o maior tempo possível. Contudo, devido a desgastes inevitáveis, todos os instrumentos de precisão, devem ser verificados e, se necessário, calibrados periodicamente para certificar se as suas características ainda estão de acordo com as especificações estabelecidas pelo fabricante ou para indicar quais são os novos valores das acurácias de suas medições.

A calibração ou verificação de instrumentos de medição deve ser realizada em intervalos especificados, ou antes, do uso, contra padrões de medição rastreáveis a padrões de medição nacionais ou internacionais (ABNT, 2000).

Com a constante implantação de sistemas de gestão de qualidade nos diferentes tipos de empresas e o aumento das exigências por parte dos clientes, as empresas comercializadoras e prestadoras de serviços de medições topográficas, também direcionam suas metas e objetivos para a busca da qualidade dos produtos e serviços oferecidos. Desta forma, a calibração tem sido usada como uma ferramenta que busca garantir maior confiabilidade nos

diferentes processos de medição, o que vem atraindo as empresas e laboratórios da área de mensuração, como forma de garantir a qualidade.

2.2.3 Determinação das incertezas na medição de ângulos e distâncias

Como já foi estabelecida anteriormente, a incerteza da medição é um parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando. Embora o conceito de incerteza como um atributo quantificável seja relativamente novo na história da medição, é amplamente reconhecido que, quando todos os componentes de erro conhecidos ou suspeitos tenham sido avaliados e as correções adequadas tenham sido aplicadas, ainda permanece uma incerteza sobre quão correto é o resultado declarado, isto é, uma dúvida acerca de quão corretamente o resultado da medição representa o valor da grandeza que está sendo medida.

A série de Normas ISO 17123:2001 especifica os procedimentos de campo a serem adotados para a determinação e avaliação da precisão dos instrumentos topográficos e seus equipamentos auxiliares. Os ensaios destas normas são verificações de campo para determinar se um instrumento encontra-se em condições ótimas para realizar os trabalhos. Estas normas podem ser consideradas como uma das primeiras etapas no processo de avaliação da incerteza da medida. A incerteza do resultado de uma medição depende de certo número de fatores, tais como:

- Repetitividade (precisão);
- Reprodutibilidade (repetitividade entre dias);
- Rastreabilidade (a través de uma cadeia ininterrupta a padrões nacionais);
- Por último deve ser realizada uma análise detalhada de todas as possíveis fontes de incertezas, segundo indica (INMETRO, 2008).

A vantagem destas normas é que são amplamente aceitas na indústria tanto por usuários, quanto por fabricantes. Seria útil, portanto, se os seus procedimentos de verificação pudessem ser usados por um procedimento de calibração, como é o caso deste trabalho no qual foi feito o uso do Método Compacto para calibração de estações totais.

O processo de calibração tem que ser realizado em laboratórios especializados ou universidades que garantam a qualidade de seus serviços e que cumpram com os requisitos de normas nacionais (NBR 13133:1994) e internacionais (ISO 17123:2001) estabelecidas para este propósito. Entre os possíveis usuários destas normas encontram-se as empresas comercializadoras dos instrumentos topográficos e os departamentos de topografia e geodesia das empresas que dispõem de sistemas de gestão da qualidade implantados.

2.2.4 Calibração

Com o passar do tempo, a exposição a condições de uso e condições atmosféricas, de um determinado instrumento fazem com que a exatidão apresente desvios, provocando grandes incertezas nas medições, chegando estas a se tornarem completamente errôneas. Para solucionar estes problemas deve-se fazer uso de um recurso denominado de calibração.

Durante o processo de calibração compara-se o valor proporcionado pelo instrumento com um valor conhecido proporcionado por um padrão. Como o padrão é o que será comparado, geralmente são utilizados padrões com alto nível metrológico. Em outras palavras padrões rastreáveis a padrões nacionais e internacionais com incertezas pequenas.

Figura 2-1 Processo de calibração

2.2.4.1 *O que é Calibrar?*

Segundo o dicionário Houaiss (2004) entende-se por calibrar o procedimento que consiste em ajustar o valor lido por um instrumento com o valor padrão de mesma natureza. Apresenta caráter ativo, pois o erro, além de determinado, é corrigido.

Segundo o (INMETRO, 2012) calibração é a operação que estabelece, sob condições especificadas, em uma primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas da medição fornecidas por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; em uma segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando à obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação.

A calibração é realizada pela comparação dos valores medidos por um determinado instrumento, com os valores de um padrão de exatidão conhecido. O resultado da comparação pode ser expresso em forma de um documento que apresenta o desvio da medição do instrumento em relação ao padrão ou pode incluir as capacidades de medição do instrumento como forma de aumentar a exatidão da medição.

Do mencionado, existe uma série de conceitos que abrangem a calibração como apresentado na Figura 2-1 e deve ser analisado cada um deles de maneira particular.

De acordo com o VIM (2012), Instrumento de Medição é o dispositivo utilizado para realizar medições, individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares. Um instrumento de medição que pode ser utilizado individualmente é um sistema de medição.

Padrão de Medição, segundo o VIM (2012), é a realização da definição de uma dada grandeza, com um valor determinado e uma incerteza de medição associada, utilizada como referência. Um padrão de medição serve, frequentemente, como referência na obtenção de valores medidos e incertezas associadas para outras grandezas da mesma natureza, estabelecendo assim uma rastreabilidade metrológica através da calibração de outros padrões, instrumentos de medição ou sistemas de medição.

Segundo o (INMETRO, 2012) uma indicação é um valor fornecido por um instrumento de medição ou um sistema de medição. Uma indicação pode ser representada por um valor atribuído a uma medida materializada. Este valor é o que deve ser comparado com o padrão.

O instrumento deve ser calibrado nas mesmas Condições de Repetitividade sendo esta definida pelo (INMETRO, 2012) como a condição de medição em um conjunto de condições, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo. Assim, mesmo a calibração deve ser realizada tomando em consideração as mesmas condições ambientais (pressão e temperatura) as que devem ser registradas no certificado de calibração a ser emitido.

A importância da calibração está em oferecer uma fotografia da situação atual do instrumento, com a qual, como parte final do processo os usuários devem realizar uma análise dos resultados obtidos na calibração e com eles determinar se:

- O instrumento pode ser usado e é identificado como tal, definindo uma nova data para calibração;
- O instrumento pode ser usado com restrições, uso parcial onde atende os requerimentos;
- O instrumento não pode ser usado e deve ser enviado para realização de um ajuste.

Para fins desta dissertação será feito uso das definições oficiais estabelecidas pela ISO no Vocabulário Internacional de Metrologia (INMETRO, 2012), documento que trata de harmonizar as terminologias e definições utilizadas nos campos da metrologia e da instrumentação. Conjuntamente com este documento foram criadas a GUM e a norma ISO 25 1998 que revisada e ampliada, resultou na norma ISO/IEC 17025:2005. A adoção destes documentos auxilia na evolução e na dinâmica do processo de globalização das sociedades tecnológicas e contribui para uma maior integração dos mercados, com uma consequente redução geral de custos. No que se refere ao interesse particular de cada país, pode alavancar uma maior participação no mercado mundial e nos mercados regionais.

2.2.4.2 Por que calibrar?

Existem dois motivos principais para realizar a calibração de instrumentos de medição. A primeira é a que se refere às obrigações e deveres com as normas de qualidade. Por

exemplo, se alguma empresa implanta as normas da série ISO 9001:2000, o item 7.6 estabelece qual deve ser o controle dos instrumentos de medição e monitoramento. A calibração ou verificação dos instrumentos de medição deve ser realizada em intervalos especificados, ou antes, do uso, contra padrões de medição rastreáveis a padrões de medição internacionais ou nacionais (ABNT, 2000).

Desta maneira, a calibração com padrões de medição rastreável, fornece a garantia de que o instrumento encontra-se trabalhando dentro de um conjunto de limites de incertezas desejáveis. Estes limites podem ser impostos pela legislação de cada país ou região, pela administração de riscos de uma determinada empresa ou simplesmente pelo estabelecido pelo fabricante.

A outra razão pela qual um instrumento de medição deve ser calibrado é para melhorar o desempenho do mesmo. A partir da calibração, pode-se conhecer o comportamento do instrumento, quantificando os erros sistemáticos que o mesmo apresenta, podendo assim diminuir e conseguir resultados mais fiáveis.

Na prática, a exigência para ter um instrumento calibrado pode vir dos clientes, de entidades de inspeção e de requisitos internos (Certificação da Qualidade, por exemplo), entre outras. A calibração dos instrumentos topográficos é uma função importante para garantir a qualidade das medições realizadas e deve ser uma atividade normal que proporciona uma série de vantagens permitindo:

- Estabelecer a rastreabilidade das medições;
- Medir para conhecer;
 1. Especificações técnicas do instrumento não garante um desempenho satisfatório;
 2. Manutenção das características com o tempo;
 3. Histórico;
- Definir critério de seleção;
 1. Escolha de instrumentos e padrões adequados às atividades a ser realizadas;
 2. Coerência com exigências regulamentares;
 3. Escolha de padrões.

2.2.4.3 Onde calibrar?

A calibração de instrumentos topográficos e geodésicos deve ser realizada em laboratórios de calibração devidamente acreditados pelas entidades competentes como a Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

Para mencionar algumas entidades europeias de acreditação existem o UKAS (*United Kingdom Accreditation Service*) no Reino Unido, COFRAC (*Comité français d'accréditation*) na França, DAkkS (*Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH*) na Alemanha, e SAS (*Swiss Accreditation Service*) na Suíça.

2.2.4.4 Quando calibrar?

A periodicidade da calibração do instrumento dependente de um grande número de fatores e, portanto, não pode ser prescrita de uma forma rígida. Por este motivo serão descritos eventos que fornecerão orientações referentes aos intervalos de tempo para a realização da calibração do instrumento quando:

- Foi danificado;
- Recebeu um forte impacto ou choque;
- Foi reparado;
- Foi alugado;
- Foi comprado um novo instrumento;
- Ocorreu uma mudança significativa no clima desde o último uso;
- O tempo limite recomendado pelo fabricante acabou, pelo que geralmente o fabricante recomenda realizar calibrações periódicas para a realização de trabalhos de precisão.

A uma calibração corresponde a emissão de um certificado de calibração e a colocação de uma etiqueta. Baseado nesta informação um usuário pode decidir se o instrumento é adequado para um uso específico. Este processo de verificação é obrigatório para empresas certificadas nas normas ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO/TS 16949, ISO/IEC 17025, RDC59 ANVISA, entre outras.

2.2.4.5 O que é o certificado de calibração?

Todos os instrumentos de medição novos e usados são submetidos a um controle de qualidade que assegura que os mesmos estão dentro dos limites especificados. A confirmação destas especificações é fornecida através de um certificado de calibração. Quando uma empresa precisa de um documento que apresente a evidência objetiva deste processo de calibração, deve solicitar este serviço a um laboratório acreditado pelo Inmetro com informações padronizadas pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005, para que o mesmo possa ser aceito nos processos de auditorias externas e possua rastreabilidade oficial aos padrões nacionais e internacionais.

O Certificado de Calibração é um documento oficial, originado a partir da atividade de calibração, emitido por um Laboratório de Calibração reconhecido e acreditado pelo Inmetro com informações padronizadas pela norma NBR ISO/IEC 17025:2005.

O objetivo do Certificado de Calibração é fornecer ao cliente os erros de medição do instrumento no momento da calibração. Conhecendo os erros do seu instrumento de medição, o cliente poderá corrigi-los no momento da utilização, tornando a medição mais exata e de maior confiabilidade. Como conteúdo mínimo o certificado de calibração deve conter:

- Título (Certificado de Calibração);
- Nome e o endereço do laboratório e o local onde a calibração foi realizada;
- Identificação unívoca do certificado de calibração;
- Nome e endereço do cliente;
- Identificação do método utilizado;

- Descrição, condição e identificação do instrumento calibrado;
- Data do recebimento do item a ser calibrado quando isso for crítico para a validade e aplicação dos resultados;
- Referência à especificação da norma tomada como referência ou breve descrição do método de calibração utilizado;
- Resultado da calibração com as unidades de medida;
- Caracterização dos padrões metrológicos utilizados para referenciar a calibração, mencionando-se, sempre que possível, a melhor capacidade de medição dos padrões de referência utilizados, para evidenciar a rastreabilidade;
- As condições ambientais com base nas quais a calibração foi realizada;
- A incerteza de medição expressa na mesma unidade do resultado da medição ou em valores relativos (valor percentual – %; partes por milhão – PPM, dentre outras), acompanhada de uma declaração sobre o nível de confiança para o qual a incerteza de medição foi estimada;
- Nome, função e assinatura dos emissores do certificado (responsáveis pela calibração do instrumento/equipamento).

2.2.5 Laboratórios de calibração

Os laboratórios de calibração acreditados, geralmente, estão no nível mais alto da hierarquia das calibrações internas de uma empresa. Sua tarefa é comparar, a intervalos pré-estabelecidos, os padrões de trabalho da própria empresa com os padrões de referência que são calibrados pelo Instituto Nacional de Metrologia ou por outro laboratório acreditado que possua uma melhor capacidade de medição.

Um laboratório de calibração estabelece a rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) dos seus próprios padrões e instrumentos de medição, por meio de uma cadeia ininterrupta de calibrações ou comparações, ligando-os aos padrões primários das unidades de medida SI correspondentes como é apresentado na Figura 2-2. A ligação às unidades SI pode

ser obtida pela referência aos padrões nacionais. Os padrões nacionais podem ser padrões primários, que são as realizações primárias das unidades SI ou representações acordadas das unidades SI baseadas em constantes físicas fundamentais, ou podem ser padrões secundários que são padrões calibrados por outro instituto nacional.

Figura 2-2 Hierarquia do sistema metrológico
Fonte: Inmetro

A norma **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005** Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração, estabelece os requerimentos de competência de laboratórios de calibração e de ensaio. Sua implantação é imprescindível para laboratórios que desejam assegurar, além da confiabilidade do seu sistema de gestão, sua competência para as calibrações e ensaios que realiza. O instrumento que permite que esta competência seja assegurada é a acreditação de laboratórios, concedida por um organismo oficial que trabalhe de acordo com requisitos e práticas internacionais.

Quando os serviços de um laboratório de calibração forem utilizados por terceiros, a rastreabilidade da medição deve ser assegurada pela utilização de serviços de calibração de laboratórios que possam demonstrar competência, capacidade de medição e rastreabilidade.

Segundo o (INMETRO, 2012) a rastreabilidade metrológica é a propriedade de um resultado de medição que pode ser relacionada a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza da medição.

Calibrações realizadas por laboratórios que mantêm apenas certificação do sistema da qualidade segundo a ISO 9000:2000 não podem ser aceitas como evidência de rastreabilidade, pois esta certificação não abrange a comprovação técnica específica para realização das calibrações.

Entre os elementos que são essenciais para que se possa afirmar que o resultado de uma medição é rastreável a um padrão nacional ou internacional estão:

- **Cadeia contínua de comparações:** conduzindo até um padrão nacional ou internacional;
- **Referência à unidade SI:** a cadeia de comparações deve alcançar os padrões primários para a realização da unidade do SI;
- **Recalibrações:** as calibrações devem ser repetidas a intervalos apropriados, definidos em função de uma série de variáveis:
 - Incerteza requerida;
 - Frequência e modo de uso dos instrumentos de medição;
 - Estabilidade dos equipamentos;
- **Incerteza de medição:** a cada passo da cadeia de rastreabilidade, deve ser determinada a incerteza de medição, de acordo com métodos definidos, de modo que se obtenha uma incerteza total para a cadeia;
- **Documentação:** cada passo da cadeia de rastreabilidade deve ser realizado de acordo com procedimentos documentados, reconhecidos como adequados e os resultados obtidos devem ser registrados em um certificado de calibração;
- **Competência:** os laboratórios que realizam um ou mais passos de cadeia de rastreabilidade devem fornecer evidências da sua competência para a realização da calibração.

2.2.5.1 Acreditação (credenciamento)

A acreditação, ou credenciamento, é o reconhecimento formal, concedido por um organismo autorizado, de que a entidade foi avaliada, segundo guias e normas nacionais e internacionais e tem competência técnica e gerencial para realizar tarefas específicas de Avaliação da Conformidade de terceira parte. No Brasil o órgão acreditador responsável pelo credenciamento é o Inmetro, sendo a acreditação de caráter voluntário.

A acreditação é uma ferramenta estabelecida em escala internacional para gerar confiança na atuação de organizações que executam atividades de avaliação da conformidade (ABNT, 2005).

No Brasil a Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (Cgcre) é o organismo de acreditação de organismos de avaliação da conformidade reconhecido pelo Governo Brasileiro. A Cgcre, atua na acreditação de Organismos de Avaliação da Conformidade - OAC. Os organismos de acreditação que reconhecem a competência de laboratórios de ensaio e calibração utilizam a Norma **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005** como base para suas credenciações.

Na busca do reconhecimento internacional, o Inmetro representa o Brasil nos seguintes fóruns internacionais:

- IAF (*International Accreditation Forum*);
- IAAC (*Interamerican Accreditaion Cooperation*);
- ILAC (*International Laboratory Accreditaion Cooperation*);
- OIML (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*);
- IATCA (*International Auditor and Taining Certification Association*);
- BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*);
- EA (*European Co-operation for Accreditation*).

2.2.6 Verificação de estações totais (ângulos e distâncias)

Todo trabalho de medição tem que ser realizado com base em algum procedimento ou norma estabelecido para este propósito. Alguns exemplos são os procedimentos descritos pelas normas NBR 13133: 1994 (Execução de Levantamento Topográfico) e a ISO 17123: 2001. (*Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments– Part 3: Theodolites*), que estabelecem procedimentos para realização da verificação em campo. A vantagem destas normas é que são amplamente aceitos nas empresas, tanto pelos usuários como pelas empresas que oferecem serviços. Estes procedimentos de verificação são usados na declaração dos resultados das calibrações e na emissão dos certificados de calibração como requisito estabelecido na Norma **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005**.

O processo de calibração, verificação e a forma de estabelecer a rastreabilidade a padrões estabelecidos são apresentados na Figura 2-3.

Figura 2-3 Rastreabilidade, calibração e verificação

2.2.7 Trabalhos anteriores

Na revisão de trabalhos anteriores serão apresentados documentos que realizam uma série de análises dos temas abordados na dissertação (qualidade, qualidade na mensuração, calibração, procedimentos de verificação de ângulos e distância).

Carrera (2011) realizou um projeto para a preparação da documentação estabelecida na norma ISO 17025:2005 para um laboratório de calibração de teodolitos e estações totais. O projeto apresentado pode ser implantado se a empresa ou laboratório contar previamente com uma norma de gestão da qualidade ISO 9001:2000. Nas conclusões do trabalho o autor afirma que com a implantação do sistema pode-se manter uma melhoria contínua nos processos de calibração garantindo a qualidade dos resultados gerados.

Zeiske (2001) realizou uma análise e descrição dos trabalhos realizados e publicados pela (ISO TC 172/SC06) *Geodetic and surveying instruments* que forma parte do *technical Committee* (ISO TC172) *Optics and Optical Instruments*. Apresentou também os instrumentos para verificação e os certificados emitidos e utilizados pela Leica Geosystems. O autor conclui que os especialistas de diferentes países devem trabalhar de maneira conjunta e participar dos trabalhos de padronização realizados pelo comitê (SC06) e fazer uso dos procedimentos e padrões que são estabelecidos.

Buga, Jokela et al. (2011) realizaram uma análise da estabilidade de uma rede multipilar em *Kyviškės* pertencente ao laboratório de calibração do Instituto de Geodesia da *Vilnius Gediminas Technical University*, para a calibração de medidores eletrônicos de distâncias, MED. Este laboratório está acreditado pela norma (ISO/CEI 17025:2005) desde o ano 2001. Esta linha base é calibrada a cada cinco anos por especialistas do *Finnish Geodetic Institute* de Finlândia. Nesta linha base são realizadas aproximadamente 60 calibrações por ano. Ao final do trabalho é confirmada a estabilidade da linha base determinando a incerteza da mesma para poder realizar calibrações.

Carneiro, Borborema e Arimateia B. (2010) discutiram os possíveis motivos de discrepâncias entre dados fornecidos na literatura internacional e medições realizadas no Brasil na ordem de grandeza do erro cíclico, como são os procedimentos de medições usados, os tipos das linhas de bases e modelos matemáticos. Para isso, foram testados alguns

procedimentos de ajustamento de outros modelos de cálculo do erro cíclico, cujos resultados são analisados. O valor da amplitude do erro cíclico pode ser obtido a partir de medições em linha de bases, ajustadas pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), ou por medições em um trilho com uma escala graduada sobre a qual se desloca um prisma. Os autores concluíram que o erro cíclico pode ser significativo e deve ser determinado nas calibrações de MED e que as distâncias entre pilares das linhas de base do Brasil tendem a fornecer valores menores que o real. Devido à importância da calibração rotineira de MED e da existência de tão poucas linhas de base no Brasil, sugere-se implantar novas bases e laboratórios de calibração e normatizar procedimentos de calibração adequados.

Dzierzega e Scherrer (2003 a) desenvolveram um Método Compacto para verificação de estações totais em um ambiente laboratorial sob condições atmosféricas controladas. O trabalho está voltado especialmente para a verificação da precisão angular e medição de distâncias. Os autores adaptaram para laboratório os métodos de campo apresentados na norma ISO-17123:2001. Tal adequação é ideal para a realização em laboratórios e centros de serviços ou instituições de ensino que possuem limitações de espaço.

Khalil (2005) descreveu um Método Compacto para a verificação da acurácia da medição de distâncias. O método apresentado está de acordo com as restrições existentes para laboratórios e a utilização de espelhos para aumentar a linha base e dispensa a montagem de refletores ou fitas refletivas fora do ambiente laboratorial. Os resultados obtidos e comparados com os métodos de campo foram satisfatórios. A precisão do Método Compacto foi igual à obtida no procedimento desenvolvido pela norma ISO 17123:2001-4. Ao final do experimento, o autor concluiu que o mesmo é eficiente, e atende as necessidades de um laboratório, contudo a exatidão e a precisão do método proposto podem ainda ser melhoradas.

Silva (2008) buscou reparar algumas questões da instrumentação geodésica. A autora procurando atender as carências da comunidade usuária de equipamento de medição angular, no que diz respeito à classificação angular horizontal e vertical, propôs desenvolver um método de baixo custo para a formação de um laboratório de classificação angular horizontal e vertical baseado na norma ISO 17123:2001-3. A autora buscou adaptar os testes realizados em campo para um laboratório utilizando colimadores, os que permitem a realização dos testes em ambientes que sejam realmente adequados, garantindo a qualidade dos resultados. Além disso, a autora empenhou-se em produzir um método para avaliar a isenção de erros nas leituras das direções horizontais em virtude do desgaste do aparelho. O objetivo da criação do

laboratório é a realização de classificação angular horizontal e vertical de teodolitos e estações totais em ambientes que sejam tecnicamente controlados, o que não é possível de realizar em campo.

Martin e Gatta (2006) buscaram fazer uma análise das atividades desenvolvidas no *European Synchrotron Radiation Facility* (ESRF), laboratório acreditado (ISO/CEI 17025:2005) pela COFRAC. Os autores buscaram analisar os trabalhos de calibração dos MED, além da calibração dos distanciômetros a laser absoluto (ADM). Também foi feita uma análise da capacidade de medir ângulos das estações totais robóticas (RTS) e os rastreadores a laser. Ao final do trabalho, os autores observaram que os topógrafos estão cada vez mais envolvidos no processo de padronização e que este envolvimento é claramente apoiado pelos profissionais de agrimensura e da *International Federation of Geometres* (FIG), prova disso é o padrão ISO- 17123 usado em testes de instrumentos de medição.

Giniotis, Bručas e Šiaudinytė (2009) propuseram um método simples para determinar a acurácia de ângulos verticais para ser usado na calibração de instrumentos geodésicos, apresentando uma proposta de distribuição de ângulos verticais para ser usada como padrão em um ambiente laboratorial. Foram apresentados os diferentes métodos para analisar a acurácia na medição de ângulos. Os autores concluem que métodos similares podem ser utilizados para determinar a acurácia para ângulos verticais e horizontais.

Bručas, Giniotis e Petroškevičius (2006) apresentaram a criação de uma bancada projetada para a realização de ensaios e calibrações de instrumentos topográficos e geodésicos como teodolitos mecânicos, teodolitos digitais e estações totais. Os autores apresentam as normas usadas para a calibração desses instrumentos, as especificações técnicas voltadas para os teodolitos eletrônicos para diversos métodos de calibração de ângulos horizontais. Ao fim do trabalho, os autores concluíram que os testes de medições preliminares foram realizados, provando que, apesar dos resultados serem bons, o equipamento de ensaio deve ser modificado de forma a aumentar a precisão da calibração.

Ježko (2007) apresentou um método de verificação e calibração dos círculos horizontais de estações totais e teodolitos. As definições de verificação e calibração são interpretadas e analisadas como atividades básicas de metrologia. São apresentadas as normas e padrões a serem utilizados na análise da acurácia de medições angulares. A calibração é realizada com o equipamento EZB 3 o qual forma parte dos padrões para calibração de

ângulos horizontais do *Slovak Metrological Institute* (SMI) em Bratislava. O processo da análise foi realizado por regressão usando uma planilha em Excel primeiramente para regressão linear e logo depois para regressão não linear com uma saída gráfica para interpretação dos resultados.

Ruiz Armenteros, García Balboa e Mesa Mingorance (2011) apresentaram uma metodologia de avaliação da incerteza das medições segundo o INMETRO (2008) das medições de direções horizontais, ângulos verticais, medições de distâncias por métodos eletromagnéticos e desníveis obtidos por nivelção geométrica no campo da mensuração. Para cada um dos mensurados foram analisadas as correspondentes fontes de incertezas que afetam sua medida e avaliadas as contribuições à incerteza combinada. Finalmente o trabalho utiliza esta incerteza como medida quantitativa que expresse a qualidade do resultado da medição.

3 INSTRUMENTAÇÃO USADA NA PESQUISA

Antes de revisar os procedimentos do Método Compacto é importante fazer uma revisão dos instrumentos que são usados no mesmo. Assim neste capítulo são apresentadas as principais características dos instrumentos usados na pesquisa, bem como o processo de funcionamento dos mesmos. Cabe destacar que os instrumentos devem ter rastreabilidade claramente estabelecida.

Instrumentos geodésicos são dispositivos portáteis que realizam medições de ângulos e ou distâncias através de componentes mecânicos e eletrônicos oferecendo de maneira rápida resultados para serem utilizados em diversas aplicações como: mineração, monitoramento de estruturas, construção de estradas, pontes, medição de aeronaves, e medição em geodesia, dentre muitas outras.

3.1 ESTAÇÕES TOTAIS

Uma estação total reúne as funções de um teodolito eletrônico, de um medidor eletrônico de distâncias MED e um computador em um instrumento (GHILANI e WOLF, 2012).

A estação total possui a mesma configuração de eixos e componentes mecânicos de um teodolito, sendo diferenciada, pela incorporação de um dispositivo eletrônico de medição de distâncias (distanciômetro) e por possuir transdutores angulares em substituição aos discos graduados. As estações mais modernas podem ser operadas via controle remoto ou ainda realizar medições automaticamente mesmo com o alvo em movimento.

Na Figura 3-1 são apresentadas as principais partes de uma estação total. Neste caso uma estação total marca Leica TPS 1100.

Figura 3-1 Partes principais de uma estação total
Fonte: Manual do usuário Leica TPS1100

De acordo com a NBR 13133 (ABNT,1994) as estações totais são classificadas segundo os desvios-padrão que as caracterizam, como mostra a Tabela 3-1 Classificação de estações totais.

Tabela 3-1 Classificação de estações totais

Classes de Estações Totais	Desvio Padrão Precisão angular	Desvio Padrão Precisão Linear
1- Precisão baixa	$\leq \pm 30''$	$\leq \pm(5\text{mm} + 3\text{ppm} \times D)$
2- Precisão média	$\leq \pm 07''$	$\leq \pm(5\text{mm} + 5\text{ppm} \times D)$
3- Precisão alta	$\leq \pm 02''$	$\leq \pm(5\text{mm} + 10\text{ppm} \times D)$

Fonte: Norma ABNT NBR 13133:1994

Em que:

D = Distâncias medida em km; e

ppm = Partes por milhão.

3.1.1 Partes principais das estações totais

A parte superior da estação total, também chamada de alidade, inclui o sistema de eixos, o telescópio, círculos graduados, e todos os outros elementos necessários para a medição de ângulos e distâncias.

Sistema de eixos

As estações totais apresentam um sistema de três eixos fundamentais que são apresentados a seguir na Figura 3-2.

- **VV**: Eixo Vertical, Principal ou de rotação da estação total;
- **ZZ**: Eixo de Colimação ou Linha de Visada;
- **KK**: Eixo Secundário ou de Rotação da luneta.

Figura 3-2 Sistema de eixos de uma estação total
Fonte: Leica 2003

Telescópio

Os telescópios são curtos, têm retículas com mira gravadas no vidro. A maioria dos telescópios tem dois controles de focalização. O controle da lente objetiva é usado para focar o objeto que está sendo visualizado e o controle ocular usado para focalizar o retículo.

Círculos graduados

São círculos graduados de metal ou cristal (vidro) de forma que se leiam os ângulos no sentido azimutal (sentido horário - na sua maioria), no sentido anti-horário ou até nos dois sentidos.

Os limbos podem funcionar por transparência ou por reflexão. A codificação sempre é feita utilizando elementos que interrompem ou não o caminho ótico entre a fonte emissora de luz e o fotodetector. Nos casos gerais onde os limbos funcionam por transparência, os principais componentes físicos da leitura eletrônica de direções são dois:

- Um círculo de cristal com regiões claras e escuras (transparentes e opacas) codificadas através de um sistema de foto leitura;
- Fotodiodos detectores da luz que atravessam o círculo graduado.

Existem basicamente dois princípios de codificação e medição, o absoluto (Ver Figura 3-3) que fornece um valor angular para cada posição do círculo, e o relativo (Ver Figura 3-4) que fornece o valor incremental a partir de uma origem, isto é, quando a estação total gira a partir de uma posição inicial.

Figura 3-3 Sistema de codificação absoluto
Fonte: Fundamentos de Topografia, 2007

Figura 3-4 Modelo de limbo incremental (relativo)
Fonte: Fundamentos de Topografia, 2007

Níveis de bolha tubulares e níveis digitais

O nivelamento do instrumento é um dos procedimentos principais antes de realizar qualquer medição. O processo de nivelamento pode ser dividido em duas etapas:

- Nivelamento grosseiro usando níveis de bolha esféricos;

- Nivelamento fino usando níveis de bolha tubular ou níveis digitais.

Os níveis de bolha esféricos ou tubulares são constituídos por um tubo de vidro fechado, parcialmente preenchido com um líquido volátil capaz de conservar a bolha com uma proximidade relativamente estável para as variações normais da temperatura.

Base Nivelante

Formada por três parafusos para nivelamento, um nível de bolha circular, um dispositivo para fixação da base com a estação total ou outros acessórios (prismas, alvos para verificações). Algumas bases têm prumos ópticos integrados como apresentado na Figura 3-5.

Figura 3-5 Base niveladora Leica modelo GDF 122
Fonte: Leica 2003

Medidores Eletrônicos de Distâncias (MED)

A medida eletrônica de distâncias baseia-se na emissão/recepção de sinais luminosos (visíveis ou não) ou de micro-ondas que atingem um refletor. A distância entre o emissor/receptor e o refletor como apresentada na Figura 3-6, é calculada eletronicamente e baseia-se no comprimento de onda, na frequência e velocidade de propagação do sinal.

Figura 3-6 Elementos de medição eletrônica de distâncias

De acordo com tipo o sinal emitido tem os seguintes tipos de MED:

- Infravermelho: distanciômetros, estações totais;
- Laser: distanciômetros, estações totais e trenas eletrônicas;
- Ultras sônicas: trenas eletrônicas.

3.2 PRISMAS REFLETORES DE VIDRO

Os prismas de vidro foram desenvolvidos para ser o sistema refletor que fornece os melhores resultados na medição eletrônica da distância. Estes são formados por três superfícies refletoras que são separadas por um ângulo de 90° entre elas, com uma cobertura interna em alumínio, cobre ou ouro. Estas superfícies refletoras são providas de um revestimento resistente para que a capacidade de refletir não seja afetada pela sujeira ou condensação. Na Figura 3-7 é apresentado um prisma marca Leica modelo GPR1.

Figura 3-7 Prisma Leica modelo GPR1

3.3 FITAS REFLETORAS ADESIVAS

A fita refletora adesiva, como apresentada na Figura 3-8, é uma alternativa mais barata em relação aos prismas de vidro e de acrílico. Ela consiste em milhares de lentes micro-esféricas, agregadas a uma resina sintética e recobertas por um plástico transparente e flexível, que lhe confere uma superfície lisa e plana. Possui ainda um adesivo sensível a pressão, o qual é protegido por uma película siliconada de fácil remoção (3M, 2013).

As fitas refletoras são autoadesivas e podem ser fixadas em estruturas como marcas de referência para medidas de deslocamentos. Sua aplicação é restrita tendo em vista que a sua refletividade é reduzida em função do tamanho dos grânulos, da ordem de 0,25 mm (RUEGUER, 1996).

Figura 3-8 Fita refletiva Leica
Fonte: Leica 2003

3.4 CONSTANTE DO PRISMA

A devolução do sinal de medida emitido pelo MED pode ser feita de duas maneiras: reflexão total (por prismas) e reflexão difusa (sem prismas).

A reflexão total, como apresentada na Figura 3-9, é empregada em prismas para produzir o desvio dos feixes de luz em 180° , logo um feixe incidente na face diagonal irá, após a reflexão total, retornar em uma direção paralela ao do raio incidente. Este prisma é concebido de tal forma que qualquer feixe de luz incidente sobre as suas superfícies, retorne na mesma direção.

Figura 3-9 Prismas de reflexão total
Fonte: Leica 2003

Na reflexão difusa os feixes de luz divergem (espalham) de maneira proporcional com o aumento da distância em relação à fonte emissora. A medição sem prisma é utilizada em equipamentos que emitem Laser que é uma fonte de luz coerente com incidência bem localizada, isto permite que uma parte dos raios incidentes retorne ao MED.

Na Figura 3-10 são apresentados os principais tipos de prismas da marca Leica e suas constantes aditivas para ser tomadas em consideração na hora de realizar medições.

Prismas Leica	Constantes [mm]	
Prisma padrão GPH1 + GPR1	0.0
Prisma 360° GRZ4	+23.1
Mini prisma GMP101/102	+17.5
Prismas adesivos	+34.4
USUÁRIO	--	é definido em "Cte Prisma" (-mm + 34.4; ex.: mm = 14 -> entrada = -14 + 34.4 = 20.4)
RL	+34.4	Sem prisma

Figura 3-10 Prismas e constantes aditivas
Fonte: Leica 2003

3.5 COLIMADORES

O colimador é um instrumento óptico que consiste de uma lente objetiva com boa correção geométrica e de uma iluminação do retículo pelo seu plano focal (ocular). O feixe de luz emergente é paralelo (feixe de colimação), de modo que a imagem do retículo é projetada para o infinito (TRIOPTICS, 2013).

O colimador é usualmente montado com um ajuste conhecido como ajuste infinito, onde o plano focal da objetiva coincide com o retículo Figura 3-11.

Figura 3-11 Ajuste infinito do colimador
Fonte: Adaptado de TRIOPTICS

Os raios de luz que emanam do retículo são paralelos quando saem da lente objetiva. Se outro telescópio focado ao infinito está apontado para o colimador, a cruz do colimador será vista como um alvo perfeito no infinito.

Se a linha de visão do telescópio é paralela à linha de colimação do colimador, a mira do telescópio será vista de forma a coincidir com as do colimador, independentemente de existir ou não qualquer pequeno deslocamento para cima ou para baixo, para a direita ou à esquerda, entre os dois objetivos. Como os raios paralelos estão envolvidos, a distância do objetivo não é importante e o telescópio pode estar localizado diretamente em frente do colimador como apresentado na Figura 3-12.

Figura 3-12 Ilustração de um telescópio em um colimador

Os colimadores são geralmente montados de maneira permanente em pilares nivelados com precisão dentro de laboratórios onde são usados como referências para:

- Medir pequenos ângulos, alterações angulares e desvios;
- Estabelecer e verificar direções perpendiculares;
- Calibrar dispositivos de medição de ângulos;
- Determinar a acurácia inicial para uma direção de referência no processo de medição de ângulos com alta precisão.

3.5.1 Principais componentes de um colimador

Os principais componentes de um colimador padrão (ajuste infinito) estão indicados na Figura 3-13, a saber:

- Tubo suporte para lentes objetivas;
- Adaptador do retículo;
- Dispositivo de iluminação.

Figura 3-13 Principais componentes de um colimador
Fonte: Adaptado de TRIOPTICS (2013)

3.6 BARÔMETRO

O barômetro, como apresentado na Figura 3-14, é um instrumento usado para determinar a pressão atmosférica em um determinado lugar. Foi inventado por Evangelista Torricelli em 1643, e funciona porque o ar aplica uma pressão com seu peso. Torricelli observou que, se a abertura de um tubo de vidro fosse cheia com mercúrio, a pressão atmosférica iria afetar o peso da coluna de mercúrio no tubo. Quanto maior a pressão do ar, mais comprida fica a coluna de mercúrio. Assim, a pressão pode ser calculada, multiplicando-se a altura da coluna de mercúrio pela densidade do mercúrio e pela aceleração da gravidade. Ao nível do mar, a pressão atmosférica é de cerca de 20 libras por polegada quadrada, 29,9 polegadas de mercúrio ou 760 milímetros de mercúrio (760 mmHg). Isto é equivalente a 101,3 quilopascals (101,3 kpa), a unidade de pressão utilizada pelos meteorologistas, além dos milibares.

O mercúrio líquido é ideal para o barômetro, pois a sua alta densidade permite uma pequena coluna. Num barômetro de água, por exemplo, seria necessária uma coluna de 10 metros de altura e, ainda assim, haveria um erro de 2%.

Figura 3-14 Barômetro com resolução de 0,5 mbar

3.7 TERMO HIGRÔMETRO

O termo higrômetro digital é um instrumento de medição das temperaturas interna, externa e da umidade relativa do ar no ambiente onde trabalha. Possui também a capacidade de armazenar os respectivos valores de máximos e mínimos alcançados ao longo de um período de tempo das temperaturas.

Figura 3-15 Termo higrômetro digital marca Cotronic

4 NORMA INTERNACIONAL ISO-17123:2001 - PROCEDIMENTO DE CAMPO PARA VERIFICAR INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS

4.1 INTRODUÇÃO

Qualidade é um conceito subjetivo que está relacionado diretamente às percepções de cada indivíduo. Diversos fatores como cultura, modelos mentais, tipo de produto ou serviço prestado, necessidades e expectativas influenciam diretamente nesta definição.

Na topografia e geodesia ao contrário das outras engenharias a precisão não é expressa como uma tolerância, mas sim como um desvio padrão.

A ISO-17123:2001 descreve os procedimentos necessários para determinar a incerteza de uma medida de um instrumento topográfico e geodésico e comprovar se estes se encontram em condições ótimas para seu uso, isto para os fabricantes de instrumentos de medição, laboratórios de calibração, como para os usuários que tentam determinar a precisão especificada dos seus instrumentos.

Embora a qualidade da medição do instrumento dependa de diversos fatores como a incerteza do compensador, resolução angular do instrumento e o aumento das lentes, etc., a norma ISO 17123:2001-3 não analisa cada um destes fatores, mas sim o efeito final produzido por todos eles, avaliando o desvio padrão da medida. Trata-se de uma forma prática de avaliar a incerteza do instrumento usado sem se interiorizar em certos aspectos não menos relevantes. Em outras palavras o interesse do usuário é a medida fornecida pelo instrumento.

A norma ISO 17123:2001-3 – Theodolites (ISO, 2001b) simplifica de forma prática a avaliação da incerteza da medição angular de um instrumento, englobando em um único valor as contribuições para a incerteza produzidas pelos denominados erros de verticalidade, leitura e visada para expressar a precisão como o desvio padrão experimental (raiz quadrada do erro médio) das direções horizontais observadas nas duas posições da luneta e ângulos verticais também observadas nas duas posições da luneta.

A Norma ISO 17123:2001-4 –*Electro-optical distance meters (EDM instruments)* (ISO, 2001c) estabelece o procedimento a seguir para determinar e avaliar a incerteza da medida de um distanciômetro mediante o desvio padrão experimental.

Entre os principais requerimentos gerais que devem ser levados em consideração antes da realização da verificação:

- Os instrumentos devem ser ajustados de acordo com as instruções dos fabricantes, usando os instrumentos auxiliares padrão indicados;
- Antes de realizar a coleta de dados o instrumento deve ser levado à temperatura ambiente;
- Deve ser levada em conta a experiência do operador na realização das medições o qual será refletido no desvio padrão das observações.

4.2 PROCEDIMENTO PARA O TESTE SIMPLIFICADO

Este procedimento dá uma indicação se a precisão dos instrumentos está dentro de uma dada especificação ou tolerância e se o conjunto instrumento – operador encontra-se apto para realizar uma medição. Mediante este procedimento não é possível obter um desvio padrão significativo, isto por causa do reduzido número de amostras, assim como a simplificação dos cálculos.

4.3 PROCEDIMENTO PARA O TESTE COMPLETO

Por meio deste procedimento é possível determinar a melhor medida de precisão expressada como desvio padrão de um instrumento e seus equipamentos auxiliares. Também é possível determinar em alguns casos, parâmetros adicionais como desempenho de grupos de trabalho, comparação de precisões de diferentes equipamentos com as mesmas especificações, etc. Este é o procedimento usado como referência para especificações de exatidão. Os testes são realizados no campo sem a utilização de equipamentos auxiliares para a determinação das medidas.

4.4 TESTE ESTATÍSTICO

O teste estatístico é recomendado só para o teste completo e é usado para a interpretação dos resultados. A questão mais importante, normalmente, é se o desvio padrão experimental obtido atende às especificações dos fabricantes.

Pelo fato do número de observações ser limitado, esta questão não pode só ser respondida comparando dois números, por este motivo é aplicado um teste de hipótese baseado na distribuição X^2 com um grau de liberdade ao nível de confiança de 95%. A explicação geral da teoria de testes estatísticos, bem como cálculo do desvio padrão experimental é dada na norma ISO 17123:2001-1 (ISO, 2001a).

4.5 CONFIGURAÇÕES FÍSICAS PARA O TESTE DE CAMPO DE DIREÇÕES HORIZONTAIS

O desvio padrão experimental para direções horizontais medidas nas duas posições da luneta é realizada em séries de medidas (uma para o teste simplificado e quatro para o teste completo). Cada série consiste de três conjuntos medidos em (quatro para o teste simplificado e cinco para o teste completo) alvos. Os alvos são distribuídos na horizontal a uma distância de 100 a 250 metros como apresentados na Figura 4-1.

Figura 4-1 Configuração para medições de direções horizontais
Fonte: ISO 17123:2001-3

4.6 CONFIGURAÇÕES FÍSICAS PARA O TESTE DE ÂNGULOS VERTICAIS

A configuração para a realização do teste para medição de ângulos verticais é apresentada na Figura 4-2. O desvio padrão experimental para medições verticais é realizado em três conjuntos de quatro séries dirigidos a quatro alvos.

Figura 4-2 Configuração para medições de ângulos verticais
Fonte: ISO 17123:2001-3

4.7 CONFIGURAÇÕES FÍSICAS PARA O TESTE DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE DISTÂNCIA (MED ISO 17123:2001-4)

Uma combinação linear de 21 distâncias é realizada de acordo com o esquema apresentado na Figura 4-3. Os pontos devem ser escolhidos de tal maneira que as distâncias possam ser determinadas por medições de amplitude de fase, determinando desta forma se o instrumento encontra-se com erro de escala, já que o erro seria proporcional à distância medida. A partir destas medidas pode ser determinado o desvio padrão experimental das medições assim como a constante aditiva para a combinação prisma – instrumento.

Figura 4-3 Configuração para medições de distâncias
Fonte: ISO 17123:2001-4

5 MÉTODO PROPOSTO

Neste tópico será descrito o método proposto na presente pesquisa para realizar a calibração de estações totais usando o Método Compacto. Será realizada uma descrição do procedimento, assim como uma análise do mesmo na implantação do método na empresa Química Suiça (Perú), detalhando os problemas encontrados durante o processo.

Para facilitar a compreensão do método, apresenta-se a seguir as etapas a serem desenvolvidas no trabalho:

1. Descrição dos principais erros que afetam as medições com estações totais;
2. Detalhamento do Método Compacto;
3. Desenvolvimento da planilha eletrônica de cálculo baseado na ISO 17123:2001;
4. Aplicação do Método Compacto – Exemplo prático.

5.1 DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS ERROS QUE AFETAM AS MEDIÇÕES COM ESTAÇÕES TOTAIS.

Antes de discutir e descrever o processo de calibração cabe destacar os erros genéricos associados a esses instrumentos. As diferentes fontes de erro que afetam as medições de direções horizontais e ângulos verticais podem se classificar em instrumentais, pessoais e naturais (GHILANI e WOLF, 2012).

5.1.1 Tipos de erros

Para fins desta dissertação os tipos de erros nas medições realizadas com instrumentos topográficos e geodésicos são de três tipos:

5.1.1.1 Erros grosseiros

Em muitos casos não são considerados como erros devido ao difícil processo de identificação, são causados geralmente por problemas como descuidos, cansaço, falta de

comunicação, falta de bom senso ou mal entendidos do operador ou equipe no momento de executar o processo de medição. Eles são detectados pela experiência e por um processo de verificação cuidadoso de todo o trabalho de maneira elimina-los repetindo uma ou mais medições.

5.1.1.2 Erros sistemáticos

Os erros sistemáticos resultam de fatores que compõem o sistema de medição e podem incluir o meio ambiente, o instrumento e o observador.

Assim, desde que as condições do sistema de medição permaneçam constantes, os erros sistemáticos também permanecerão constantes. Se as condições mudam, as magnitudes dos erros sistemáticos também mudam. Como os erros sistemáticos tendem a se acumular, eles às vezes são chamados de erros cumulativos. A determinação dos erros sistemáticos requer um padrão de referência.

5.1.1.3 Erros aleatórios ou acidentais

Os erros aleatórios ou acidentais são todos aqueles que resultam no final, depois os erros grosseiros e os erros sistemáticos terem sido eliminados. Eles são causados por fatores que se encontram fora do alcance do observador e obedecem a leis da probabilidade. Não existe uma maneira absoluta para elimina-los e podem ser estimados usando métodos estatísticos. A determinação dos erros aleatórios pode ser obtida mediante um conjunto de medidas controladas, com um número suficiente para que se tenha significado estatístico. O erro aleatório é obtido dos resíduos do ajustamento do conjunto de todas as combinações de medidas efetuadas. Para fins desta dissertação o método de ajustamento dos mínimos quadrados foi utilizado.

5.1.2 Fontes de erros

5.1.2.1 Erros pessoais

Surgem geralmente por limitações físicas dos sentidos humanos como a visão e o tato. Por este motivo, as pessoas envolvidas no processo de calibração devem possuir experiência no uso de instrumentos topográficos e geodésicos.

5.1.2.2 Erros naturais ou atmosféricos

Estes tipos de erros são ocasionados por variações no vento, temperatura, umidade, pressão atmosférica, refração atmosférica, gravidade e declinação magnética.

As estações totais modernas possuem sensores incorporados que registram automaticamente o valor das variáveis atmosféricas medindo as distâncias com as respectivas correções. Em outros instrumentos estas variáveis têm de ser introduzidas manualmente mediante o teclado para que o processador da estação calcule o valor das partes por milhão (PPM) a ser corrigido. Em estações mais antigas o valor das PPM é calculado previamente pelo usuário, sendo introduzido manualmente.

De acordo com Schaal (1995), o ângulo de refração é variável em visadas paralelas ao solo, por isto é recomendável que as observações sejam feitas com céu encoberto e com temperaturas amenas (em torno de 20° C), e que o instrumento seja instalado em locais onde a linha de visada seja afastada no mínimo de 0,50 m acima do solo.

5.1.2.3 Erros instrumentais

São considerados como erros instrumentais os resultados de alguma imperfeição durante o processo de construção ou ajuste do instrumento e pela movimentação de alguma das peças. O efeito de muitos erros instrumentais pode ser reduzido ou até mesmo eliminado, através da adoção de procedimentos adequados de levantamento ou a aplicação de correções.

Nesta seção e para os fins da dissertação serão apresentadas as principais fontes de erros instrumentais que afetam as medições de ângulos e distâncias realizadas com estações totais. Trata-se dos erros relacionados ao sistema de eixos das estações totais.

5.1.3 Erros instrumentais relacionados às medições de ângulos

As estações totais devem cumprir com as seguintes exigências.

- a) O eixo de visada ZZ deve ser perpendicular ao eixo secundário KK;
- b) O eixo secundário KK deve ser perpendicular ao eixo principal VV;
- c) O eixo principal VV deve estar exatamente na perpendicular;
- d) A leitura do círculo vertical deve ser exatamente igual à zero no zênite.

Quando estas exigências não são atendidas, aparecem erros nos ângulos medidos com estações totais como apresentados a seguir.

5.1.3.1 *Erro de colimação ou erro de visada*

Ocorre quando o eixo de colimação (ZZ) não é normal ao eixo horizontal ou secundário (KK), proporcionando assim existência de um valor c que indica um erro de posição de um ponto quando a luneta é girada de 180. Ver Figura 5-1 a.

5.1.3.2 *Erro de horizontalidade*

Ocorre se o eixo secundário desvia de um ângulo a do plano horizontal quando o eixo principal está na vertical. Ver Figura 5-1 b.

5.1.3.3 *Erro de verticalidade*

Ocorre quando este eixo principal não está localizado na vertical. Ver Figura 5-1 c.

5.1.3.4 *Erro de índice vertical*

Ocorre na leitura do ângulo entre a direção zenital e a leitura do zero do círculo vertical, ou seja, a leitura do círculo vertical para uma visada horizontal não é igual a 90° ou 100 grados. Ver Figura 5-1 d.

5.1.3.5 Excentricidade do limbo

Este erro ocorre durante o processo de fabricação e montagem da estação total. O ponto da rotação do limbo graduado é apenas geometricamente definido como o centro da graduação, mas não coincide com o centro de rotação da estação. Assim as leituras do limbo não correspondem à rotação da estação, e podem corresponder a um acréscimo ou decréscimo na leitura.

5.1.3.6 Erros de graduação do limbo

Produzido pela imprecisão durante o processo de gravação do limbo. Estes erros podem ser regulares ou irregulares, e também podem ser causados por grandes variações de temperatura ocasionando a dilatação do limbo.

5.1.3.7 Erro de índice do compensador

Este erro ocorre quando o ponto zero do compensador não coincide com a vertical.

Figura 5-1 Erros relacionados ao sistema de eixos das estações totais

Fonte: Leica 2007

Uma melhoria substancial nas estações totais foi à inclusão dos dispositivos de controle da inclinação (compensadores). Estes dispositivos são usados para compensar, de

maneira automática, os ângulos horizontais e verticais de qualquer inclinação residual do eixo vertical aplicando correções diretas nas medidas efetuadas no limbo eliminando a necessidade de registrar medidas em ambas as posições da luneta deixando isto só para o cálculo de medidas mais precisas. Os compensadores podem ser de um eixo, dois eixos e três eixos. Os primeiros permitem corrigir ângulos verticais, os segundos corrigem também os ângulos horizontais e os de três eixos corrigem automaticamente o erro do eixo de colimação. Para a realização de trabalhos de alta precisão pode-se tomar como fonte de erro o desvio padrão fornecido pelo fabricante para o compensador.

Estas fontes de erros, como apresentadas na Figura 5-1, chamadas de erros instrumentais, são erros sistemáticos residuais que advêm do processo fabricação do instrumento e são inevitáveis. A sua influência nas medições realizadas pode ser eliminada ou reduzida a um mínimo, aplicando correções de calibração, razão pela qual Dzierzega e Scherrer (2003 b) afirmam que a maioria destas fontes de erros de origem instrumental não é considerada significativa, na hora de avaliar a incerteza das medições angulares.

5.1.4 Erros instrumentais relacionados aos Medidores Eletrônicos de Distâncias (MED)

As distâncias medidas pelos MED estão sujeitas a três tipos de erros:

5.1.4.1 Erro do índice ou zero

Também chamado de erro da constante aditiva, erro do índice, constante de prisma/refletor ou constante do instrumento. Representa a diferença entre a distância medida com um medidor eletrônico de distância entre dois pontos (corrigida de erros de escala, cíclicos e atmosféricos) e a distância conhecida entre eles. O ponto de onde o sinal é transmitido pode ser diferente do centro geométrico considerado como eixo principal da estação e também pode existir uma diferença entre o centro geométrico e ótico do instrumento. Este erro é característico para cada instrumento e prisma. É um erro sistemático constante e não proporcional à distância medida. Normalmente todos os prismas do mesmo modelo são calibrados pelo fabricante e determinada a sua constante aditiva.

5.1.4.2 Erro cíclico

O erro cíclico é uma função da medição real da diferença de fase medida pela MED. Erro cíclico é geralmente senoidal, com um comprimento de onda equivalente a unidade de comprimento da MED. A unidade de comprimento está na escala em que a MED mede a distância. A estabilidade do sistema eletrônico MED interno também pode variar com o tempo, assim, o erro cíclico pode alterar-se significativamente ao longo do tempo. É inversamente proporcional à força de retorno do sinal de retorno, portanto, os seus efeitos irão aumentar com o aumento da distância.

5.1.4.3 Erro de escala

O erro de escala descreve as falhas que são linearmente proporcionais ao comprimento da distância medida e expressa em partes por milhão (PPM) da distância. Normalmente é desprezível (< 1 PPM), mas pode chegar a valores entre 20-30 PPM nos casos extremos. As razões para tais ocorrências são:

- Erros internos de frequência, incluindo aqueles causados pela temperatura externa do instrumento;
- Variações de condições atmosféricas que afetam a velocidade de propagação da onda eletromagnética;
- Padrões de emissão/recepção não homogêneos para os diodos emissores e receptores.

Destes três erros é possível calibrar o erro de índice zero e o erro cíclico. Para o erro de escala deve-se fazer uso de um frequencímetro para determinar e ajustar as variações de frequência do instrumento. Todos os medidores eletrônicos de distância são calibrados da mesma maneira, conforme apresentado no Método Compacto descrito a seguir.

5.2 INCERTEZAS DAS MEDIÇÕES

De acordo com o INMETRO (2012) a incerteza é definida como o parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas.

A incerteza de medição inclui componentes provenientes de efeitos sistemáticos, tais como componentes associadas a correções e a valores atribuídos a padrões, assim como a incerteza definicional. Algumas vezes, não são corrigidos os efeitos sistemáticos estimados, mas, em vez disso, são incorporados componentes de incerteza de medição associadas.

O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio-padrão denominado incerteza padrão (ou um de seus múltiplos) ou a metade da amplitude de um intervalo, tendo uma probabilidade de abrangência determinada.

A incerteza do resultado de uma medição deve ser agrupada em duas categorias, de acordo com o método utilizado para estimar os seus valores numéricos:

- **Tipo A** - incertezas que são avaliadas por métodos estatísticos, obtida por observações repetidas em condições de repetitividade. Esta incerteza é obtida baseada na dispersão dos resultados;
- **Tipo B** - incertezas que são avaliadas por métodos não estatísticos, usando informação externa ou obtida pela experiência. A seguir são apresentados alguns exemplos:
 - Certificados de calibração;
 - Normas;
 - Valores anteriores;
 - Especificações do instrumento;
 - Experiência do comportamento do instrumento.

5.2.1 Identificação das fontes de incertezas

Depois de identificar o mensurando, o método e o procedimento de medição, devem ser identificadas as possíveis fontes de incertezas.

As fontes de incertezas são ocasionadas por diversos fatores que ocorrem durante o processo de medição como, por exemplo:

- Resultados de Calibração do instrumento;
- Incertezas do padrão;
- Repetitividade das medições;
- Reprodutibilidade das medições;
- Especificações do instrumento e do padrão (Resolução);
- Variações das condições ambientais.

5.2.2 Incerteza expandida

A forma de expressar a incerteza das medições como parte do resultado da medição depende do usuário. Existem ocasiões nas quais só se expressa a incerteza padrão, outras vezes é requerido expressar o nível de confiança, mas cada vez que a incerteza é expressa, deve ser especificada a maneira em que esta foi definida.

Apesar da incerteza padrão ser universalmente usada para expressar a incerteza de um resultado de medição, em algumas aplicações é necessário dispor de uma medida de incerteza que englobe uma fração apreciável dos valores que são atribuíveis ao mensurando. Neste caso é usada a incerteza expandida, U , que é igual à incerteza-padrão combinada, U_c , multiplicada por um fator de cobertura k , isto é

$$U = k U_c$$

Assim, com um determinado nível de confiança, Y assume um valor no intervalo $Y = y \pm U$. Tipicamente, k assume os valores de 2 ou 3, a que correspondem níveis de confiança de 95,5 % e 99,7 %, respectivamente. Nos casos em que uma distribuição normal possa ser atribuída a um mensurando e a incerteza padrão associada à estimativa da grandeza de saída tenha suficiente fiabilidade, deve-se optar pelo fator de cobertura $k = 2$.

5.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO COMPACTO

As estações totais devem ser calibradas periodicamente para garantir a qualidade das medidas e ter confiabilidade nos resultados, estabelecendo a incerteza e garantindo a rastreabilidade para cumprir com os requisitos estabelecidos pela calibração. Deve-se lembrar de que a rastreabilidade é a propriedade de um resultado de medição em que o resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.

A base para realizar medidas exatas deve ser realizada usando um método que garanta a rastreabilidade das ações. O Método Compacto publicado por Alojzy Dzierzega e René Scherrer “*The Compact Method of Testing Total Stations*” no ano 2003 na revista *Survey Review*, é um método baseado na norma ISO 17123:2001-3 e 17123:2001-4 para ambiente laboratorial que determina a exatidão de medições angulares e de distâncias obtidas com estações totais. No procedimento de verificação de estações totais estabelecido no Método Compacto, as medidas angulares são realizadas usando colimadores e as medições das distâncias são realizadas com ou sem refletores.

Entre as vantagens do método estão:

- Otimização de tempo: As medições de direções horizontais e ângulos verticais são realizados ao mesmo tempo. Na norma ISO 17123:2001-3 este procedimento é realizado em duas etapas independentes.
- Otimização de espaço: O método foi ajustado para ser realizado em laboratórios de calibração ou instituições de ensino com restrições de espaço.

A ISO 17123:2001 possui métodos rigorosos para avaliar a exatidão das medições angulares e das medições de distâncias dos instrumentos de agrimensura, contudo, problemas podem surgir, tais como:

- Não dispor de uma área adequada para a realização do teste (restrições de espaço, necessidade de percorrer grandes distâncias até a área designada para a realização da verificação);

- Tempo elevado para a construção ou montagem do teste para um aparelho e usá-lo apenas uma vez ou para realização de testes ocasionais, restrições de tempo;
- Custo elevado para a montagem permanente para a realização de ensaios;
- Tempo gasto na realização das medições.

Os fatos citados anteriormente ocorrem com mais frequência nas oficinas de manutenção localizadas principalmente nas cidades e nos laboratórios de instituições de ensino.

5.3.1 Laboratório

As condições ambientais do laboratório são uma parte importante porque podem influenciar tanto nas medições dos ângulos, como nas distâncias. Existem dois fatores atmosféricos que afetam as medições de maneira considerável. A temperatura e a refração. A temperatura afeta todos os elementos físicos dentro do laboratório incluindo as estações totais a serem calibradas (todo objeto metálico se expande e contrai com as variações de temperatura) e a refração afeta as medições eletrônicas de distâncias e as medições de ângulos.

5.3.2 Temperatura

A temperatura é um parâmetro extremamente complexo, que pode causar pequenos desvios nos diferentes componentes do laboratório, ocasionando variações nos parâmetros estabelecidos, justificando desta maneira a calibração periódica dos equipamentos padrões usados para calcular os valores adotados como referência.

5.3.3 Refração

Os efeitos causados pela refração, especialmente quando as medições são realizadas em campo com os instrumentos expostos a variações atmosféricas, devem ser considerados em todas as medições realizadas com instrumentos ópticos. Neste trabalho efeitos de refração foram reduzidos ao mínimo pelo fato de serem realizados em laboratório.

Correções topográficas e geodésicas, tais como a redução do nível do mar, e correções devido à curvatura da terra, não são consideradas no trabalho porque as distâncias usadas são pequenas.

5.3.4 Pessoal autorizado para a realização do processo de calibração

Os técnicos envolvidos no processo de calibração devem ter, no mínimo, alguma qualificação em gestão de qualidade e ter uma boa compreensão das técnicas de levantamento topográfico e geodésico. Todas as pessoas encarregadas para realizar medições de precisão, de acordo com os métodos descritos neste trabalho devem ter experiência anterior na operação de instrumentos de levantamento topográficos e geodésicos para gerarem a quantidade mínima de erros pessoais. Além disso, elas devem ter conhecimentos de todos os processos nos quais estão envolvidos.

5.3.5 Instrumentação usada

Como foi estabelecido no Capítulo 2, o processo para garantir a qualidade das medições começa com a implementação da ISO 9001:2000 onde se estabelece o controle e a verificação periódica dos instrumentos usados na mensuração.

Os instrumentos usados no Método Compacto instalados pela empresa Química Suiza são:

- Estação de medição de ângulos (5 colimadores) conforme indicado na Figura 5-2;

Figura 5-2 Colimador

- Base niveladora fixa, localizada de maneira permanente em um pilar de aço ou concreto como apresentado na Figura 5-3;

Figura 5-3 Base niveladora

- Estação de medição de distância (3 prismas circulares GPR1 e fita refletiva) como pode ser visto nas Figura 5-4 e 5-5;

Figura 5-4 Prisma circular

Figura 5-5 Fitas refletivas

- Estação Total marca Leica modelo TC1201+ como apresentada na Figura 5-6 com certificado de calibração ACL_CC13_872459 realizado cada 12 meses (certificado de calibração no Anexo A - Figura A-1);

Figura 5-6 Estação total Leica TC1201+

- Espelho refletor da marca Leica (Figura 5-7) usado como uma superfície de reflexão (SR), em que o vidro é usado como anteparo para a camada refletora. O objetivo é minimizar o fenômeno de refração.

Figura 5-7 Espelho refletor marca Leica

- Barômetro digital marca *Control Company* (Figura 5-8) para medição da pressão atmosférica com certificado de calibração LT-144-2012, realizado cada 12 meses (Certificado de calibração no Anexo A – Figura A-2);

Figura 5-8 Barômetro digital

- Termo higrômetro digital marca Mannix código SATG-T-001 (Figura 5-9) para medição de temperatura e humidade do ambiente com certificado de calibração T-2870-2011 realizado cada 12 meses (Certificado de calibração no Anexo A - Figura A-3).

Figura 5-9 Termo higrômetro Mannix

5.3.6 Layout do laboratório

Um esquema da disposição física do laboratório é apresentada nas Figura 5-10 e Figura 5-12 apresentando uma distribuição dos cinco colimadores instalados nos respectivos suportes e no centro uma base niveladora montada em um pilar de concreto ou aço. O local deve contar com um sistema de ar condicionado para regular a temperatura. A temperatura é um parâmetro que deve ser registrado e apresentado nos certificados de calibração emitidos pelo laboratório.

5.3.7 Configuração das medidas angulares zenitais e medidas horizontais

No planejamento da configuração física para a realização das medições angulares horizontais e zenitais deve-se levar em consideração o tamanho do local disponível e o tempo requerido para a realização das medições.

5.3.7.1 Configuração necessária para a realização das medições angulares horizontais e zenitais

O instrumento a ser calibrado deve ser instalado em uma base montada firmemente em um pilar de aço ou concreto como mostra a Figura 5-11.

Figura 5-10 Disposição horizontal dos colimadores para medições angulares
Fonte: Compact Method of Testing Total Station, 2003

Figura 5-11 Estação total montada em um pilar de aço

As medições angulares são realizadas usando cinco colimadores. Dois devem ser montados na direção horizontal e os outros três fora do plano horizontal de maneira que cubram um ângulo de elevação entre $+30^\circ$ e -40° . A distribuição dos colimadores serve para diminuir o tempo gasto nas medições horizontais e das medições do ângulo zenital, que neste método são realizadas em um único passo. Os colimadores devem ser focados ao infinito e estar montados em uma parede sólida ou um poste estável. Em outras palavras, a posição dos colimadores deve permanecer absolutamente estável durante o período de coleta de dados. Deve-se apontar à mira dos colimadores permitindo medições simultâneas entre medições

horizontais e do ângulo zenital. A orientação horizontal dos colimadores não deve exceder mais de 10° e não mais de 2° na vertical. Para facilitar a coleta automática de dados um computador deve ser localizado perto da estação de medição.

Figura 5-12 Disposição vertical dos colimadores para medições angulares
Fonte: Compact Method of Testing Total Station, 2003

As diferenças entre o Método Compacto e a ISO 17123:2001-3 são:

- O Método Compacto é um procedimento realizado em laboratório, sob condições atmosféricas controladas (refração, cintilação e mudanças de temperatura) consideradas como fatores desprezíveis neste ambiente;
- No Método Compacto são usados como alvos cinco colimadores focados ao infinito diferenciando-se da ISO 17123:2001-3 onde são utilizados prismas localizados a distâncias estabelecidas;
- No Método Compacto os dados de ângulo horizontal e vertical são coletados na mesma observação;
- No Método Compacto o número de séries de medições foi reduzido a uma.

Medições horizontais:

	ISO 17123:2001-3	Método Compacto
Nº de alvos (r)	5	5
Nº de conjuntos de medições (n)	3	3
Nº de séries de medições (M)	5	1
Graus de liberdade f	32	8

Medições verticais:

	ISO 17123:2001-3	Método Compacto
Nº de alvos (r)	4	5
Nº de conjuntos de medição (n)	3	3
Nº de séries de medições (M)	4	1
Graus de liberdade f	32	10

Termologia a ser usada

Termo	Descrição
Séries de medições	Dados de medições cronologicamente adjacentes que formam um conjunto de dados de avaliação
Conjunto de medidas	Medições individuais de todos os alvos em ambas as posições da luneta
Alvo (Colimador)	Objetivo que permanece fixo durante a aquisição das séries de medidas

Para melhor entendimento da distribuição dos colimadores no laboratório, é apresentada a distribuição dos colimadores Figura 5-13, base e pilar realizada no laboratório da empresa Química Suiza, Lima Perú, na qual é possível observar a montagem dos colimadores em uma área de 5 x 5 metros.

Figura 5-13 Distribuição real dos colimadores no Laboratório de Calibração Química Suiza, Lima, Perú

O colimador deve ser montado na parede ou em um pilar usando um suporte especial, conforme ilustrados nas Figura 5-15 e Figura 5-16, e devem permitir a rotação necessária e que possibilite o direcionamento do alvo. No laboratório de Química Suíza, a montagem de cada um dos colimadores foi realizada de maneira independente em um poste ou pilar metálico, onde os cinco postes foram unidos entre si, como apresentado na Figura 5-14, pelo extremo superior com o auxílio de presas metálicas, como uma forma de garantir a estabilidade geral da estação de medição de ângulos. Este procedimento foi realizado, pois em uma primeira etapa de provas não existia uma estabilidade comprovada no momento de realizar cada uma das séries de medidas para a realização dos testes.

Figura 5-14 Localização dos 5 postes unidos

Figura 5-15 Colimador 1 montado no suporte

Figura 5-16 Colimador 2 montado em no suporte

Figura 5-17 Estação de medição de ângulos Método Compacto

5.3.8 Configuração necessária para a realização das medições de distâncias

A configuração é realizada para verificar a precisão das medições de distância e para determinar o valor da constante aditiva do instrumento, levando em consideração as restrições de espaço, como é o caso de um laboratório mostrado na Figura 5-17. Para a determinação do fator de escala não é recomendado usar distâncias curtas, medições de frequência devem ser realizadas usando um frequencímetro.

As medições de distância são realizadas a partir de uma base fixa e estável localizada em um pilar de aço ou concreto, com os alvos localizados num intervalo de 5 a 150 metros (Figura 5-18).

Três prismas refletores ou fitas refletivas adesivas são montados em paredes exteriores estáveis ou suporte localizado nas distâncias indicadas na sequência. A distância entre dois

prismas próximos não deve ser menor a 20 m. Para o teste sem refletores, devem ser marcados alvos fixos como referência usando os seguintes intervalos de distâncias:

- 5 m – 30 m
- 30 m – 80 m
- 80 m – 150 m

A localização do instrumento deve ser marcada usando pontos ou alvos dentro do laboratório como referência no sentido oposto dos refletores usados para medir as distâncias. A distância usada como referência deve ser determinada com um instrumento com certificado de calibração não superior a 12 meses. O instrumento deve ter precisão inferior a $1\text{mm} + 2\text{ PPM}$.

Para verificar a precisão dos MED com fitas refletivas e sem refletores, são colocadas fitas refletivas como alvos fixos e permanentes em paredes ou postes próximos. As distâncias recomendadas são as seguintes:

- 5 m – 20 m
- 20 m – 40 m
- 40 m – 80 m

As distâncias entre os alvos não devem se encontrar a menos de 10 m uma de outra. Neste caso, o ideal é que os alvos não se encontrem próximos para evitar o erro provocado por múltiplo sinal. Em outras palavras, quando os alvos são visualizados para realizar a coleta de dados não devem encontrar outros alvos no campo visual do telescópio.

Figura 5-18 Configuração física para avaliar medições de distâncias

Para a montagem da estação de medição de distâncias foram localizados prismas dentro e fora do laboratório (Figura 5-17 e Figura 5-19) fazendo uso de espelhos para aumentar a distância da linha base. As distâncias determinadas no estudo de caso, estão apresentadas na Tabela 5-1:

Tabela 5-1 Padrões de distâncias usados na Química Suíza

	Prisma	Fitas refletivas
1	12,314	10,269
2	46,653	31,991
3	97,970	46,534

Figura 5-19 Prisma e espelho localizado em prédios próximos

Segundo Buckner; (1998)¹ apud KHALIL, (2005) mudanças de 1° C na temperatura ocasiona uma mudança na leitura do MED de 1 ppm e mudanças de 2.54 mmHg na pressão atmosférica provocam mudanças de 1 ppm na leitura do MED.

¹ Buckner B. 1998 "Achieving Accuracy in Distances", Professional Surveyor Magazine, Vol. 18, No. 6, September 1998

5.3.9 Procedimentos de medição

5.3.9.1 Medições angulares

Antes de iniciar o procedimento de medição o instrumento deve estar a uma temperatura ambiente. Deve-se esperar aproximadamente 2 minutos por cada 1°C de diferença de temperatura. Os erros relacionados aos eixos da estação e os erros do ponto zero do compensador podem ser ajustados e habilitados para todas as correções angulares, contudo, não influenciam na exatidão das medições que são realizadas nas duas posições (direta e invertida) da luneta.

Em geral é realizada uma série composta por três conjuntos de medições de ângulos em ambas as posições (direta e inversa) da luneta do aparelho a cada um dos cinco colimadores. Nas medições é visado o centro dos colimadores, em seguida, são medidos simultaneamente os ângulos verticais e as direções horizontais. A primeira metade de cada conjunto é realizada no sentido horário 1, 2, 3, 4, 5 e a outra metade no sentido anti-horário 5,4,3,2,1. Entre cada conjunto de medição, o instrumento deve ser retirado da base e girado algo em torno de 120°, colocando novamente na base e fixado. Através deste procedimento poderão ser descobertos erros no sistema de medição angular.

A determinação do desvio padrão experimental s é realizado separadamente para as direções horizontais e para os ângulos zenitais de acordo com as fórmulas usadas para medir conjuntos de ângulos como apresentado na ISO 17123:2001-3.

O desvio padrão estabelecido experimentalmente $s(Hz)$ de uma direção horizontal medido uma única vez em ambas as posições (direta e invertida) da luneta é calculado da seguinte forma:

$$s(Hz) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{8}} \quad (5.1)$$

Sendo:

i = Número de conjuntos;

j = Número de alvos;

$r_{i,j}$ = Resíduos da medição de direção Hz para a média do conjunto.

O desvio padrão estabelecido experimentalmente $s(V)$ de uma medição angular zenital medido uma única vez em ambas as posições (direta e invertida) da luneta, é calculado da seguinte forma:

$$s(V) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{10}} \quad (5.2)$$

Sendo:

i = Número de conjuntos;

j = Número de pontos-alvo;

$r_{i,j}$ = Resíduos da medida de ângulos V para a média do conjunto.

O resultado do cálculo é validado por um teste estatístico. O critério do teste é baseado na hipótese estatística onde $s(\text{Desvio padrão obtido}) \leq m(\text{Desvio padrão especificado})$ contra a alternativa $s > m$.

O objetivo deste processo é avaliar se o desvio padrão determinado experimentalmente atende às especificações do fabricante.

Através de hipóteses comuns em teste estatísticos é possível atingir um nível de confiança de 95% para os graus de liberdade $f=8$ e $f=10$. Isso para estabelecer um intervalo válido (arredondado) de 1.3.

$$\sqrt{\frac{x^2(95\%,f)}{f}} \geq 1.3 * \text{Especificação do fabricante} \quad (5.3)$$

A equação (5.3) significa que se o $s \geq 1.3$ vezes o valor das especificações do fabricante, o instrumento é classificado como inadequado com fator de risco de 5% acima do valor aceitável.

5.3.9.2 Controle e verificação da estação de medição de ângulos

Para garantir a rastreabilidade de padrões nacionais ou a procedimentos reconhecidos, é essencial que o laboratório para calibração de ângulos seja verificado a intervalos regulares. Este intervalo depende do histórico de estabilidade do laboratório, mas não pode exceder de 12 meses. Cabe ressaltar que o processo de verificação tem que ser especificado nos processos estabelecidos pela norma ISO 9001:2000.

- **Layout dos colimadores**

A distribuição física dos colimadores não deve exceder os limites permitidos.

- **Limpeza e verificação dos colimadores**

Deve ser realizada uma inspeção visual dos colimadores para verificar se as superfícies internas e externas das lentes encontram-se livres de poeira, umidade, impressões digitais. O método não dispõe de especificações significativas para estes. Assim também devem ser verificadas as defasagens do retículo do colimador.

Outro aspecto que deve ser verificado é o alinhamento e a nitidez dos fios de cada um dos cinco colimadores, usando algum instrumento laser para a verificação do objetivo do colimador.

5.3.9.3 Procedimentos recomendados para as medições de distâncias

Antes de iniciar o procedimento de medição de distâncias, o instrumento deve estar à temperatura ambiente e os parâmetros padrões específicos como a constante aditiva do prisma, devem ser estabelecidos. Cada fabricante proporciona o valor da constante aditiva do prisma. Deve-se considerar que o instrumento esteja isento de qualquer erro de escala.

As correções atmosféricas de temperatura, pressão e umidade devem ser consideradas e realizar as respectivas correções ppm usando o termo higrômetro e o barômetro e realizando as respectivas correções estabelecidas nos certificados de calibração destes (Ver Anexo A - Figura A-2 e Figura A-3). Deste modo, as distâncias medidas poderão ser comparadas aos valores de referência.

Quando é determinada a acurácia dos MED devem ser considerados outros critérios além da constante aditiva. Para determinar o erro de escala, deve ser realizada uma medida de frequência. Esta rotina é parte dos procedimentos de verificação dos MED.

A determinação da precisão e a constante aditiva devem ser realizadas separadamente para cada tipo de alvo (no prisma, na fita refletiva ou sem prisma). As medições para cada tipo de alvo compõem-se de três conjuntos de medições realizadas nas duas posições (direta e invertida) da luneta para três alvos localizados em distâncias diferentes.

São realizadas seis conjuntos de medições. Cada distância é medida três vezes nas duas posições da luneta (grau de liberdade 15). Para cada distância é determinada uma constante aditiva $AddC_i$ para cada tipo de alvo:

Assim,

$$AddC_i = \left(Known_i - \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 Meas_{i,j} \right) \quad (5.4)$$

Sendo:

$known$ = Distância de referência (adotado como verdadeiro);

$Meas$ = Distância medida a cada um dos alvos;

i = Número de alvos (= número de distâncias de referência)

j = Número de medidas por alvo.

Se a propagação destas três constantes aditivas for muito dispersa, as possíveis causas são:

- Alterações realizadas no local, devendo ser verificada a distância de referência;
- Se a distância influencia as três constantes aditiva, um erro de escala pode ter acontecido e deve ser determinado detalhadamente através da medição de frequência;
- Podem ter ocorrido condições instáveis no período das medições.

Se este não é o caso, então o valor médio $AddC$ da constante aditiva e seu desvio padrão experimental $s(AddC)$ é determinado da seguinte maneira:

$$AddC = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 AddC_i \quad (5.5)$$

$$s(AddC) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 (AddC - AddC_i)^2} \quad (5.6)$$

Sendo:

$AddC_i$ = Constante aditiva para cada tipo de alvo;

$AddC$ = Valor médio das constantes aditivas;

$s(AddC)$ = Desvio padrão experimental das constantes aditivas;

i = Número de alvos (= número de distâncias de referência).

Os autores do Método Compacto afirmam que a realização de testes estatísticos para o cálculo da constante aditiva não é expressivo neste caso.

Se a constante aditiva determinada experimentalmente for mais da metade da parte constante das especificações do fabricante (2mm + 2ppm, que corresponderia a 1mm), o instrumento tem que ser ajustado pela oficina de serviços. Este processo não pode ser realizado pelo usuário, mas o valor pode ser introduzido no instrumento para realizar as correções das medições.

O desvio padrão, $s(D)$, está relacionado à repetitividade (precisão) e o cálculo é realizado a partir da soma do quadrado dos resíduos das distâncias. Primeiramente, é determinada a distância ajustada a partir das distâncias conhecidas com a constante aditiva obtida no processo anterior.

$$DistM_i = (Known_i + AddC) \quad (5.7)$$

Sendo,

$DistM_i$ = Valor ajustado para cada uma das distâncias;

$known$ = Distância de referência (adotado como verdadeiro);

$AddC$ = Valor médio das constantes aditivas;

i = Número de alvos (= número de distâncias de referência).

Nesta fase, são calculados os resíduos das medições individuais com os respectivos valores ajustados, elevadas ao quadrado e somadas:

$$s(D) = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 (DistM_i - Meas_{i,j})^2} \quad (5.8)$$

Sendo,

$DistM_i$ = Valor ajustado para cada uma das distâncias;

$Meas$ = Distância medida a cada alvo;

i = Número de alvos (= número de distâncias de referência);

j = Número de medidas por alvo.

O mesmo procedimento é utilizado para interpretar o resultado da precisão em relação às medições angulares. O resultado será de 1,29 porém corrigido para 1,3.

O resultado obtido é validado por um teste estatístico. O teste é baseado na hipótese de que o s (desvio padrão obtido) $\leq m$ (especificações do fabricante), atingindo um nível de confiança de 95%. Como a precisão é arredondada, as direções horizontais, os ângulos verticais e medições de distâncias seguem a regra prática de aceitação de um instrumento:

$$s \leq 1,3 \times \text{Especificações do fabricante} \quad (5.9)$$

5.3.10 Estabilidade da linha base

A estabilidade da instalação da linha base é verificada pela condição $s(AddC) \leq s(D)$. Se a condição não é verdadeira, a causa provável é a instabilidade das distâncias de referência.

5.3.11 Intervalo da constante aditiva

A constante aditiva é aceita sendo igual a 0 se ela se encontrar nos limites estabelecidos a seguir:

Tabela 5-2 Limites estabelecidos para a constante aditiva

Especificação	Constante aditiva
1mm	< 0,2 mm
2mm	< 1 mm
3mm	< 2 mm
5mm	< 3 mm

5.3.12 Determinação das distâncias de referência.

A determinação das distâncias de referência é realizada da mesma maneira como foi calculada a constante aditiva dos equipamentos a serem calibrados. A diferença é que naquele caso foi usado um instrumento padrão com precisão menor ou igual a $1\text{mm} + 2\text{ppm}$. Este instrumento padrão tem que ter certificados de calibração não superior a 12 meses para medições de distância a prismas e fitas refletivas em um laboratório acreditado.

Para as distâncias de referência, devem ser realizadas três séries de medições cada uma contendo três conjuntos de medições (levando em consideração a configuração correta dos ppm e da constante aditiva). Depois de cada conjunto o instrumento deve ser girado 120 graus na base niveladora. Após cada série deve haver um intervalo de quatro horas. As médias das medições obtidas podem ser usadas como novas medidas de referência.

5.3.13 Inspeção da linha base da estação de medida

Para garantir a rastreabilidade a padrões nacionais ou a procedimentos reconhecidos, é essencial que o laboratório para calibração de distâncias seja verificado em intervalos regulares.

5.3.13.1 Verificação das distâncias de referência

A estação de medição de distâncias deve ser verificada junto com a estação de medição de ângulos. Geralmente este tempo depende do histórico de estabilidade da linha base. Inicialmente as linhas bases devem ser verificadas uma vez ao mês. Se os resultados apresentarem alta estabilidade o intervalo deve aumentar, sem exceder o máximo de tempo de seis meses. Geralmente as mudanças do clima (calor, frio, seco, úmida) afetam as distâncias de referência, mudanças estas que podem ser consideradas para determinar o tempo ou intervalo de verificação.

5.3.13.2 Monitoramento permanente da linha base da estação de medida

Um sistema pode ser estabelecido, por meio do registro das medidas de distâncias de cada um dos instrumentos testados. Ao longo do tempo, desvios podem ser identificados ou reconhecidos por alguma das distâncias. Se este desvio for superior a 1 mm deve-se assumir que a distância relevante mudou e a distância de referência deve ser determinada novamente. Se os valores das distâncias medidas flutuam dentro de intervalos de precisão MED especificadas, em comparação com as distâncias de referência, pode-se supor que a linha de base é estável e não ocorreram mudanças significativas.

5.4 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA ELETRÔNICA DE CÁLCULO BASEADO NA ISO 17123:2001-3

A planilha desenvolvida nesta pesquisa foi feita em Excel baseando-se nas especificações da norma ISO 17123:2001-3 e ISO 17123:2001-4. Foram realizadas três planilhas para o cálculo da precisão de direções horizontais, ângulos verticais, e distâncias.

5.4.1 Cálculo de precisão das medições de direções horizontais

Para o cálculo da precisão das medições horizontais foram realizados os cálculos de ângulos horizontais, média angular, resíduos dos ângulos medidos em relação à média angular, resíduo angular total de cada série individualmente, desvio padrão de cada série individualmente, graus de liberdade de cada série em função do número de conjuntos e número de alvos, graus de liberdade total em função do número de série e desvio-padrão final.

Usando o desvio-padrão experimental s , foi determinado se o instrumento encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos conforme o Método Compacto.

A planilha termina com a obtenção do desvio-padrão experimental s , que indica a classificação do equipamento. A seguir são apresentados cada uma das etapas da realização da planilha.

- Foram registrados os dados do instrumento e o cliente;
- Na coluna 3 e 4 foram registradas as medições realizadas nas duas posições da luneta $H_{z,j,k,I}$ e $H_{z,j,k,II}$; $j = 1,2,3$; $k = 1, \dots, 5$;
- Na coluna 5 foi calculado o erro de colimação dos ângulos horizontais;

$$HzCol_{j,k} = \frac{H_{z,j,k,I} - H_{z,j,k,II} \pm 180^\circ}{2} = \frac{H_{z,j,k,I} - H_{z,j,k,II} \pm 200 \text{ gon}}{2}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.10)$$

- Na coluna 6 foi calculada a média dos valores das leituras nas duas posições da luneta;

$$HzCol_{j,k} = \frac{H_{z,j,k,I} + H_{z,j,k,II} \pm 180^\circ}{2} = \frac{H_{z,j,k,I} + H_{z,j,k,II} \pm 200 \text{ gon}}{2}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.11)$$

- Na coluna 7 foram calculadas as reduções das direções com base o alvo 1;

$$Red_{j,k} = H_{z,j,k} - H_{z,j,1}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.12)$$

- Na coluna 8 foram calculadas as médias dos valores para cada uma das direções;

$$Media_k = \frac{Red_{1,k} + Red_{2,k} + Red_{3,k}}{3} ; k = 1, \dots, 5; \quad (5.13)$$

- Na coluna 9 calculam-se os resíduos das medições com a média;

$$d_{j,k} = Media_k - Red_{j,k}; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.14)$$

- Para cada grupo de medições foi calculada a média aritmética;

$$\bar{d}_j = \frac{d_{j,1} + d_{j,2} + d_{j,3} + d_{j,4} + d_{j,5}}{5} ; j = 1, 2, 3; \quad (5.15)$$

- Na coluna 10 foi calculado o resíduo;

$$r_{j,k} = d_{j,k} - \bar{d}_j; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.16)$$

Para n= 3 grupos de direções t=5 alvos os graus de liberdade, tem-se:

$$v = (3 - 1) \times (5 - 1) = 8 \quad (5.17)$$

- Na coluna 11 foi calculada a soma dos quadrados dos resíduos, e finalmente o desvio padrão experimental;

$$s(Hz) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{8}} \quad (5.18)$$

	Instrumento:	TS02 POWER 5"										
	Temperatura:	28										
	Pressão:	986 mbar										
	Serie:	1330572										
	Observador:	José Luis Borda Leon										
	Data:	11-mar-14										
	Cliente:	UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU										
	especificações:	1.5[mGon]										
	Medições de ângulos horizontais											
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	
j	k	Hz _{j, k, I}	Hz _{j, k, II}	HzCol _{j, k}	HzM _{j, k}	Red _{j, k}	Media _k	d _{j, k}		r _{j, k}	r ² _{j, k}	
		gon	gon	gon	gon	gon	gon		gon	mgon	mgon ²	
1	1	375,8580	175,8592	-0,00060	375,8586	0	0	0	-0,00033	-0,33	0,1089	
	2	52,0087	252,0119	-0,00160	52,0103	76,15170	76,15127	0,00043	0,0001033	0,10333	0,01068	
	3	173,9624	373,9642	-0,00090	173,9633	198,10470	198,1051	-0,00042	-0,000747	-0,74667	0,55752	
	4	230,5939	30,5928	0,00055	230,5934	254,73475	254,7339	0,00090	0,00057	0,57	0,3249	
		331,8254	131,8236	0,00090	331,8245	355,96590	355,9652	0,00073	0,0004033	0,40333	0,16268	
	Σ	1.164,2484	964,2517	-0,00165	1164,25		1030,946	0,00033		-0,40334	1,16468	
2	1	242,5339	42,5352	-0,00065	242,5346	0		0	0,00159	1,59	2,5281	
	2	318,6806	118,6843	-0,00185	318,6825	76,14790		-0,00337	-0,001777	-1,77667	3,15656	
	3	40,6378	240,6404	-0,00130	40,6391	198,10455		-0,00057	0,0010233	1,02333	1,0472	
	4	97,2669	297,2665	0,00020	97,2667	254,73215		-0,00170	-0,00011	-0,11	0,0121	
		198,4970	398,4978	-0,00040	198,4974	355,96285		-0,00232	-0,000727	-0,72667	0,52805	
	Σ	897,6162	1.097,6242	-0,004	897,6202			-0,00159		0,72666	7,27201	
3	1	109,2004	309,2018	-0,00070	109,2011	0		0	-0,00126	-1,26	1,5876	
	2	185,3536	385,3570	-0,00170	185,3553	76,15420		0,00293	0,0016733	1,67333	2,80003	
	3	307,3066	107,3078	-0,00060	307,3072	198,10610		0,00098	-0,000277	-0,27667	0,07655	
	4	363,9362	163,9353	0,00045	363,9358	254,73465		0,00080	-0,00046	-0,46	0,2116	
		65,1670	265,1687	-0,00085	65,16785	355,96675		0,00158	0,0003233	0,32333	0,10454	
	Σ	1.030,9638	1.230,9706	-0,0034	1030,967			0,00126		-0,32334	4,78032	
										Σr ²	13,21701	
										S	1.285351	

Figura 5-20 Planilha para cálculo da precisão das medidas horizontais

5.4.2 Cálculo de precisão das medições de ângulos verticais

Para o cálculo da precisão das medições dos ângulos verticais foram realizados os cálculos de cada ângulo, média angular, resíduos dos ângulos medidos em relação à média angular, resíduo angular total de cada série individualmente, desvio padrão de cada série individualmente, graus de liberdade de cada série em função do número de conjuntos e número de alvos, graus de liberdade total em função do número de série e desvio-padrão final.

Usando o desvio-padrão experimental s , foi determinado se o instrumento encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos conforme o Método Compacto.

A planilha termina com a obtenção do desvio-padrão experimental S , que indica a classificação do equipamento. A seguir são apresentadas cada uma das etapas no desenvolvimento da planilha.

- Foram registrados os dados do instrumento e o cliente;
- Na coluna 3 e 4 foram registradas as medições realizadas nas duas posições da luneta $V_{j,k,I}$ e $V_{j,k,II}$; $j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5$;
- Na coluna 5 foi calculado o erro de índice vertical δ ;

$$V_i = \frac{1}{3 \cdot 5} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 \frac{V_{j,k,I} + V_{j,k,II} \pm 360^\circ}{2} = \frac{1}{3 \cdot 5} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 \frac{V_{j,k,I} + V_{j,k,II} \pm 400 \text{ gon}}{2}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.20)$$

$$V = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{3} \quad (5.21)$$

- Na coluna 6 foi calculada a média dos valores das leituras nas duas posições da luneta;

$$V_{j,k} = \frac{V_{j,k,I} - V_{j,k,II} \pm 360^\circ}{2} = \frac{V_{j,k,I} - V_{j,k,II} \pm 400 \text{ gon}}{2}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.22)$$

- Na coluna 7 foram calculadas as médias dos valores dos ângulos verticais;

$$Media_k = \frac{V_{1,k} + V_{2,k} + V_{3,k}}{3} = ; \quad k = 1, \dots, 5; \quad (5.23)$$

- Na coluna 8 calculam-se os resíduos das medidas com a média;

$$r_{j,k} = Media_k - V_{j,k}; \quad j = 1,2,3; k = 1, \dots, 5; \quad (5.24)$$

Para $n=3$ grupos de direções $t=5$ alvos os graus de liberdade são:

$$v = (3 - 1) \times (5) = 10 \quad (5.25)$$

- Na coluna 9 foi calculada a soma dos quadrados dos resíduos e, finalmente, o desvio padrão experimental;

$$s(V) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 r_{i,j}^2}{10}} \quad (5.26)$$

	Instrumento:	TS02 POWER 5"						
	Temperatura:	28						
	Pressão:	986 mbar						
	Serie:	1330572						
	Observador:	José Luis Borda Leon						
	Data:	11-mar-14						
	Cliente:	UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU						
	especificações:	1.5[mGon]						
	Medições de ângulos verticais							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
j	k	v_{j, k, I}	v_{j, k, II}	V_i	V'_{j, k}	Media_k	r_{j, k}	r²_{j, k}
		gon	gon	gon	gon	gon	mgon	mgon²
1	1	100,1188	299,8823	0,55	100,1183	100,11817	0,08333	0,007
	2	143,8683	256,1324	0,35	143,868	143,86817	-0,21667	0,047
	3	100,0764	299,9244	0,4	100,076	100,07622	-0,21667	0,047
	4	65,9850	334,0155	0,25	65,98475	65,98492	-0,16667	0,028
	5	77,9616	322,0392	0,4	77,9612	77,96128	-0,08333	0,007
	Σ	488,0101	1511,994	0,39	488,0082	488,0088	-0,51668	0,136
2	1	100,1188	299,8824	0,6	100,1182		0,03333	0,001
	2	143,8685	256,1321	0,3	143,8682		0,03333	0,001
	3	100,0770	299,9243	0,65	100,0764		0,13333	0,018
	4	65,9848	334,0153	0,05	65,98475		-0,16667	0,028
	5	77,9618	322,0388	0,3	77,9615		0,21667	0,047
	Σ	488,0109	1511,993	0,38	488,009		0,03332	0,095
3	1	100,1184	299,8823	0,35	100,1181		-0,11667	0,014
	2	143,8687	256,1320	0,35	143,8684		0,18333	0,034
	3	100,0768	299,9242	0,5	100,0763		0,08333	0,007
	4	65,9856	334,0151	0,35	65,98525		0,33333	0,111
	5	77,9619	322,0396	0,75	77,96115		-0,13333	0,018
	Σ	488,0114	1511,993	0,46	488,0091		0,48332	0,184

Figura 5-21 Planilha para cálculo da precisão dos ângulos verticais

5.4.3 Cálculo de precisão das medições de distâncias

Antes de iniciar o processo de medição de distâncias, o valor da constante aditiva do prisma deve ser estabelecido e configurado no aparelho. Devem ser introduzidas as correções atmosféricas (PPM) e determinadas as distâncias de referência a cada um dos tipos de alvos para começar a coleta de dados. Cada distância é medida três vezes nas duas posições da luneta sendo um total de 6 medições por série. A seguir são apresentadas cada uma das etapas a serem desenvolvidas na elaboração da planilha.

- Primeiramente se realiza a coleta de dados para cada um dos tipos de prisma nas colunas 3 (prisma), 5(IR tape) e 7 (SR tape);
- Nas colunas 4, 6 e 8 é encontrado o resíduo entre as distâncias de referências e as distâncias medidas a cada um dos alvos;
- Para cada distância são realizadas 6 medições e para cada distância deve ser calculada a constante aditiva $AddC_i$

$$AddC_i = Know_i - \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 Media_{i,j} \quad (5.27)$$

- Para as 3 distâncias é calculada a constante aditiva para o tipo de alvo;

$$AddC = \frac{\sum_{i=1}^3 AddC_i}{3} \quad (5.28)$$

- Para cada constante aditiva é calculado o desvio padrão das constantes;

$$S(AddC) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (AddC_i - AddC)^2}{2}} \quad (5.29)$$

- Usando as distâncias conhecidas mais a constante aditiva é calculado o desvio padrão das medições para todos os alvos;

$$DistMi = (Know_i + AddC) \quad i = 1,2,3; \quad (5.30)$$

$$S(D) = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 (DistMi - Media_{i,j})^2} \quad (5.31)$$

Este resultado deve ser validado mediante um teste estatístico para verificar se o instrumento encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos.

	Instrumento:	TS02 POWER 5"							
	Temperatura:	28							
	Pressão:	986 mbar							
	Serie:	1330572							
	Observador:	José Luis Borda Leon							
	Data:	11-mar-14							
	Cliente:	UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU							
	especificações:	1.5mm+2ppm							
	Medições de distâncias								
1	2	3	4	5	6	7	8		
j	k	Prism	Diff	IR Tape	Diff	Sr	Diff		
Nominal Values									
1	1	12,31380		10,26860		10,26860			
	2	46,65340		31,99080		31,99080			
	3	97,96990		46,53400		46,53400			
1	2	3	3	3	3	3	3		
j	k	Prism	Diff	IR Tape	Diff	Sr	Diff		
1	1/1	12,31425	-0,45	10,26901	-0,41	10,26831	0,29		
	1/2	46,65326	0,14	31,99036	0,44	31,99146	-0,66		
	1/3	97,96912	0,78	46,53356	0,44	46,53406	-0,06		
	2/3	97,96892	0,98	46,53366	0,34	46,53406	-0,06		
	2/2	46,65306	0,34	31,99036	0,44	31,99156	-0,76		
	2/1	12,31425	-0,45	10,26851	0,09	10,26801	0,59		
	Σ	313,87286		177,58546		177,58746			
2	1/1	12,31415	-0,35	10,26881	-0,21	10,26831	0,29		
	1/2	46,65326	0,14	31,99046	0,34	31,99166	-0,86		
	1/3	97,96902	0,88	46,53356	0,44	46,53316	0,84		
	2/3	97,96902	0,88	46,53356	0,44	46,53366	0,34		
	2/2	46,65316	0,24	31,99066	0,14	31,99166	-0,86		
	2/1	12,31385	-0,05	10,26831	0,29	10,26831	0,29		
	Σ	313,87246		177,58536		177,58676			
3	1/1	12,31425	-0,45	10,26931	-0,71	10,26821	0,39		
	1/2	46,65326	0,14	31,99066	0,14	31,99176	-0,96		
	1/3	97,96902	0,88	46,53366	0,34	46,53446	-0,46		
	2/3	97,96902	0,88	46,53366	0,34	46,53476	-0,76		
	2/2	46,65306	0,34	31,99056	0,24	31,99186	-1,06		
	2/1	12,31385	-0,05	10,26871	-0,11	10,26821	0,39		
	Σ	313,87246		177,58656		177,58926			
		IR Refl		IR Tape		SR Tape			
		MM	MM	MM					
1		-0,30000000		-0,17666667		0,37333333			
2		0,22333333		0,29		-0,86			
3		0,88000000		0,39		-0,02666667			
	AddC	0,26777778		0,16777778		-0,17111111	Constante aditiva		
	S(AddC)	0,59125416		0,30245908		0,62922645	Desvio padrao da constante aditiva		
		IR Refl		IR Tape		SR Tape			
	DistMi								
1		12,31406778		10,26876778		10,26842889	Usando a distancia conhecida+constante aditiva		
2		46,65366778		31,99096778		31,99062889			
3		97,97016778		46,53416778		46,53382889			
		2,0123E-07		6,33807E-07		3,13696E-07			
		1,49547E-06		1,35236E-06		6,47914E-06			
		7,92436E-06		1,8817E-06		1,84803E-06			
	s(Dist)	0,800877297		0,507796985		0,758984702	Desvio padrão das medidas		

Figura 5-22 Planilha de cálculo de precisão para distâncias

5.4.4 Uso do Método Compacto aplicado em um exemplo prático

Para a realização do exemplo prático aplicando o Método Compacto foi usada uma estação total da marca Leica com as seguintes especificações.

- Estação Total Marca Leica : Leica Flexline TS02 POWER 5";
- Procedência: Suíça;
- Série: 1330572;
- Cliente: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU;
- Precisão angular: 1.5[mGon];
- Precisão para medições de distâncias: 1.5mm+2PPM;
- Resolução: 0,1 mm;

A coleta de dados foi realizada no laboratório de calibração da empresa Quimica Suiza del Perú localizada na Avenida República de Panamá 2577 Lima – Peru. O laboratório de Calibração para estações totais (Método Compacto) forma parte do laboratório de Geomática (SATG) que forma parte do Serviço e atenção técnica em Calibrações (SAT).

- Data: 11-Março-2014;
- Técnico: Cesar Chuna;
- Procedimento de Calibração.

O procedimento de calibração utilizado (Método Compacto) usa como referência a norma ISO 17123:2001-3 e ISO 17123:2001-4

- Condições ambientais

Temperatura inicial: 26° C

Temperatura Final: 26° C

Pressão inicial: 985,4 mbar

Pressão Final: 986,5 mbar

- Rastreabilidade

Para garantir a rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais foram usados instrumentos que materializam as unidades físicas de medida de acordo com o SI.

Estação Total Leica TS1201+

Certificado de calibração ACL_CC13_872459 Anexo A – Figura A-1

Padrões de referência Leica – Suíça

Termohigrômetro (Temperatura)

Certificado de calibração T-2870-2011 Anexo A – Figura A-2

Padrões de Referência METROIL-Peru

Barotermohigrômetro (Pressão)

Certificado de calibração LT- 144-2012 Anexo A – Figura A-3

Padrões de referência INMETRO BRASIL – CENAM MEXICO

Para o início das medições, foi feita a climatização do instrumento a temperatura ambiente. O processo de obtenção de dados no laboratório da empresa Química Suíça foi realizado de maneira automática e o cálculo da precisão de ângulos e distâncias foi realizado por um software próprio da empresa e os resultados são apresentados no Anexo B – Figura B-2 e Figura B-3.

Para fins de validação foi utilizada a planilha desenvolvida em Excel (Figura 5-20 e Figura 5-21) em que foram obtidos os seguintes resultados:

Desvio Padrão das medidas de ângulos horizontais: $S(Hz) \approx 1,29$ mgon

Desvio Padrão das medidas de ângulos Verticais: $S(V) \approx 0,20$ mgon

Tabela 5-3 Resultados para medições de ângulos

S (Hz)	1,285350633
S (V)	0,203715488

Para as medições de distâncias foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 5-4 Resultados para medições de distâncias

	IR Refl	IR Tape	SR Tape	
AddC	0,267777778	0,167777778	-0,171111111	Constante aditiva
S(AddC)	0,59125416	0,302459058	0,62922645	Desvio padrao da constante aditiva
s(Dist)	0,800877297	0,507796985	0,758984702	Desvio padrão das medidas

De acordo com o Método Compacto, os resultados obtidos encontram-se dentro das especificações do fabricante, tanto nas medições de ângulos como nas medições de distâncias.

Mediante o uso deste procedimento a empresa Química Suíza realiza a emissão de um certificado de calibração apresentado no Anexo B - Figura B-1, em que cada um dos itens encontra-se de acordo com o estabelecido na Norma ISO ABNT NBR ISO 17025:2005 para emissão de certificados de Calibração. Os pontos principais que estabelece a norma e que se encontram no certificado são:

- Descrição do Instrumento;
- Condições ambientais;
- Dados de rastreabilidade;
- Definição da incerteza para as medições de ângulos e distâncias;
- Resultados e dados.

Para a realização da análise da incerteza usando o Método Compacto, na empresa Química Suíza, foram avaliadas as seguintes fontes de incertezas a ser levadas em consideração. (DZIERZEGA e SCHERRER, 2003a)

- Incerteza do padrão;
- Resolução do padrão;
- Repetitividade do padrão;
- Incerteza combinada do padrão;

- Resolução de leitura do instrumento a ser calibrado;
- Repetitividade obtida durante o processo.

Após realizar uma análise das contribuições para a definição da incerteza, esta é expressa como a incerteza expandida, a que é resultado da incerteza padrão encontrada pelo Método Compacto multiplicado por um fator de cobertura $K = 2$, com uma probabilidade de 95%. A Incerteza é determinada de acordo com as especificações da GUM.

Para avaliar os valores angulares foram coletadas três séries de dados usando o Método Compacto e determinada a média dos desvios, e o desvio padrão destes resultados.

Ângulos Horizontais

$$S(Hz) = 1,14 \text{ mgon} \pm 0,16 \text{ mgon}$$

Ângulos Verticais

$$S(V) = 023 \text{ mgon} \pm 0,03 \text{ mgon}$$

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve por objetivo principal a descrição e avaliação do uso do Método Compacto, método baseado na norma ISO 17123:2001-3 e ISO 17123:2001-4 como uma alternativa para calibração de estações totais em ambiente laboratorial.

A análise realizada nesta pesquisa busca atender a todos os usuários de instrumentos geodésicos, em especial aos que trabalham com estações totais. Para isto foi realizado em uma primeira etapa um estudo das principais normas que estabelecem os processos para garantir a qualidade na mensuração assim como os requerimentos estabelecidos para o processo de calibração em laboratórios de acordo com a norma ABNT NBR ISO IEC 17025:2005.

Em uma segunda etapa, foi realizada uma descrição dos principais erros que afetam a estações totais e se analisou cada um dos métodos ou princípios que ajudam a reduzir os efeitos destes.

Com ajuda do pessoal do laboratório da empresa Química Suiza industrial do Perú foi realizado um análise do Método Compacto, na qual foram expostos os principais problemas encontrados durante o processo da montagem no laboratório e forneceram soluções para manter a estabilidade nas estações de medições de ângulos e distâncias.

Os principais problemas no laboratório da empresa Química Suiza industrial do Perú, foram ocasionados por:

- A cidade Lima encontra-se em uma região afetada por movimentos sísmicos que provocam variações mínimas de posição dos colimadores durante intervalos de medições;
- O Laboratório foi montado em um segundo andar, gerando pequenas vibrações na estrutura do prédio, ocasionados por o transito de veículos nas ruas e avenidas próximas.

Para garantir a estabilidade da estação de medição de ângulos, os pilares foram unidos usando barras metálicas de modo a formarem uma estrutura única, para garantirem a repetitividade entre as medições.

Para garantir a estabilidade entre medições de distâncias foi diminuído o intervalo de verificação das linhas base, realizando este processo semanalmente.

Fazendo uso das normas ISO 17123:2001 foi desenvolvida uma planilha Excel para determinar a precisão das medições de ângulos e distâncias, a qual foi comparada com o software proprietário e com o certificado de calibração G00192014 Anexo B - Figura B-1 emitido por Química Suiza Industrial - Peru, obtendo precisões iguais as quais foram verificadas realizando um exemplo com dados reais na calibração de uma estação total da empresa MARCAHUAMACHUCO – PERU.

Finalmente pode-se concluir que o Método Compacto é um procedimento adequado para realizar a verificação de estações totais e que pode ser utilizado em laboratórios de calibração como uma ferramenta para garantir a qualidade das medições de ângulos e distâncias estabelecendo a rastreabilidade das ações.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Na montagem da estação de medição de distâncias pelo Método Compacto recomenda-se montar os alvos em prédios próximos para diminuir o efeito das condições ambientais na precisão das medições. Por este motivo cabe realizar uma análise detalhada das vantagens da utilização de espelhos para aumentar a distância das linhas bases e a utilização destes dentro do ambiente laboratorial assim como a incidência do índice de refração no momento de aumentar o número de espelhos.

É aconselhável a realização de uma análise detalhada das fontes de incertezas, que podem afetar o Método Compacto, levando em consideração o trabalho realizado por Ruiz Armenteros, García Balboa e Mesa Mingorance (2011) onde foram analisadas a incertezas que afetam a norma ISO 17123:2001.

Deve ser realizada uma análise de correlação para determinar o melhor número de séries de medições para a realização do Método Compacto comparando-o com o número de medições realizadas na norma ISO 17123:2001.

7 REFERÊNCIAS

3M. 3M. **3M Produtos e Serviços**, 2013. Disponível em: <www.solutions.3m.com.br>. Acesso em: 2013.

ABNT. Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos. **NBR ISO 9001:2000**, Rio de Janeiro, p. 30, 2000. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005**, Rio de Janeiro, p. 31, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **www.abnt.org.br**, 2006. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/m3.asp?cod_pagina=931>. Acesso em: 15 Dezembro 2013.

BRUČAS, D.; GINIOTIS, ; PETROŠKEVIČIUS,. Basic construction of the flat angle calibration test bench for geodetic instruments. **Geodesy and Cartography**, London, v. 32:3, p. 66-70, 2006.

BUGA, A. et al. Analysis of EDM instruments calibration at the kyviškė calibration baseline. **ENVIRONMENTAL ENGINEERING, The 8th International Conference**, Vilnius, Lithuania, p. 5, Maio 2011.

CARNEIRO, D. D. S.; BORBOREMA, A. C. B. A.; ARIMATEIA B., J.. As linhas de bases do Brasil e determinação do Erro Cíclico em MED. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, 27-30 julho 2010. 001-008.

CARRERA, J. A. C. Elaboración de la documentación necesaria establecida en la norma 17025 para el laboratorio de topografía del departamento de ciencias de la tierra y construcción en ensayos de calibración para estaciones totales y teodolitos, Ecuador, n. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, p. 219, 2011.

DZIERZEGA, A.; SCHERRER, R. The Compact Method of Testing Total Stations. **Survey Review**, Bristol, v. 37, n. 288, p. 145-154, abril 2003a.

DZIERZEGA, A.; SCHERRER, R. Measuring with Electronic Total Stations. **Survey Review**, Bristol, v. 37, n. 287, p. 55-65, Janeiro 2003b.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary surveying an introduction to Geomatics**. Thirteenth Edition. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2012.

GINIOTIS, ; BRUČAS, ; ŠIAUDINYTÈ,. Arrangement for vertical angle calibration of geodetic instruments. **MECHANIKA**, Kaunas, Lithuania, v. 5, p. 59-62, 2009.

HEINZ LIPPUNER, R. S. **The New Theodolit Test Machine TPM-2 from Leica Geosystems**. Heerbrugg, Switzerland, 2004: Leica Geosystems AG, 2004.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. D. S. **Houais Dicionário da língua portuguesa**. 2da Edição. ed. Rio de Janeiro: Moderna Ltda, 2004.

INMETRO. **Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição GUM 2008**. 1ª Edição Brasileira da 1ª Edição do BIPM de 2008. ed. Duque de

Caxias: INMETRO, 2008. 141 p. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, JCGM 100, Comitê Conjunto para Guias em Metrologia.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). 1a edição luso-brasileira. ed. Duque de Caxias: INMETRO, 2012. 94 p. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, JCGM 200, Comitê Conjunto para Guias em Metrologia.

ISO. Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 1: Theory. **International Standard ISO 17123-1: 2001, Optics and optical instruments**, Geneva, Switzerland, 2001a. International Standardization Organization.

ISO. Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites. **International Standard ISO 17123-3: 2001, Optics and optical instruments**, Geneva, Switzerland, 2001b. International Standardization Organization.

ISO. Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments). **International Standard ISO 17123-3: 2001, Optics and optical instruments**, Geneva, Switzerland, 2001c. International Standardization Organization.

ISO. ISO in brief International Standards for a sustainable world. **ISO International Organization for Standardization**, Geneva, Switzerland, april 2011.

JEŽKO, J. Calibration and Verification of horizontal circles of electronic theodolites. **Slovak Journal of Civil Engineering**, Bratislava, Eslováquia, Abril 2007. P.32-38.

KHALIL, R. New Compact Method for Laboratory Testing EDM Instruments. **FIG Working Week 2005 and GSDI-8**, Cairo, Egypt, p. 16-21, April 2005.

MARTIN, D.; GATTA, G. Calibration of Total Stations Instruments at the ESRF. **Shaping the Change**, Munich, Germany, 8-13 October 2006. 14. XXIII FIG Congress.

RUIZ ARMENTEROS, A. M.; GARCÍA BALBOA, J. L.; MESA MINGORANCE, J. L. Error, incertidumbre, precisión y exactitud, términos asociados a la calidad espacial del dato geográfico. **CICUM 2010**, Jaen, junio 2010.

RUIZ ARMENTEROS, A. M.; GARCÍA BALBOA, J. L.; MESA MINGORANCE, J. L. Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica. **MAPPING**, JAEN, v. 149, p. 6-27, septiembre/octubre 2011.

SCHAAL, R. E. **Efeitos da refração na atmosfera em observações geodésicas próximas ao solo**. Sao Paulo, Brasil: [s.n.], 1995. 120 p. Dissertação. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SILVA, M. M. S. D. **Metodologia para a criação de um laboratório para classificação das componentes angulares horizontal e vertical, de teodolitos e estações totais**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 159. 2008.

STEVE Y. W. LAM, C. H. W. T. Role of Surveyors under ISO 9000 in the Construction Industry. **Journal of Surveying Engineering**, v. 128, p. 13, November 2002.

TAYLOR, B. N.; KUYATT, C. E. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. **NIST Technical Note**, Washington, v. 1297, n. 1994, 1994. National Institute of Standards and Technology.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Curitiba: [s.n.], 2012. Universidade Federal do Paraná.

ZEISKE, K. Current status of the ISO standarization of accuracy determination procedures for surveying instruments. **FIG Working Week 2001**, Seoul, Korea, Maio 2001.

ANEXO A

No Anexo A estão apresentados os certificados de calibração dos equipamentos que formam parte do Método Compacto, que são necessários para garantir a rastreabilidade a padrões nacionais e internacionais.

Figura A-1 Certificado de Calibração Estação total padrão TC1201

Calibration Certificate SCS

Calibration laboratory accredited by the Swiss Accreditation Service (SAS)

Accreditation No.: SCS 079

The Swiss Accreditation Service (SAS) is one of the signatories to the European cooperation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement for the recognition of calibration certificates

Swiss Calibration Service (SCS)
Schweizerischer Kalibrierdienst
Service suisse d'étalonnage
Servizio svizzero di taratura

Product: TC1201+
Article no: 759466
Serial no: 872459

Certificate. no: ACL_CC13_872459

Calibration date: März 07, 2013

Ordered by: Quimica Suiza Industrial del Peru S.A.
RUC 20546357377, Av. Republica de Panama 2577
13 Lima, Peru

Your order number:

Customer: Quimica Suiza Industrial del Peru S.A.
RUC 20546357377, Av. Republica de Panama 2577
13 Lima, Peru

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the physical units of measurements (SI).

The measurement, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages and are part of the certificate.
The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k = 2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with EA-4/02.

Leica Geosystems AG
SCS Calibration Laboratory

März 12, 2013

Gallus Schlachter
Head of Calibration Lab. Surveying

Wolfgang Hardegen
Head of Accredited Laboratories

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Leica Geosystems AG
Heinrich-Wild-Strasse
CH-9435 Heerbrugg, Switzerland
www.leica-geosystems.com

- when it has to be right

Leica
Geosystems

Page 1/7 ACL_CC13_872459.pdf

Calibration Certificate SCS

Hz-Direction and V-Angle:**Product specifications:**

Standard deviation of a double face measurement according to
ISO 17123-3:
Horizontal-direction:
Vertical angle:

Product specifications:

Hz: $s = 0.3 \text{ mgon [1"]}$
V: $s = 0.3 \text{ mgon [1"]}$

Measuring results:

Measuring results:

Standard deviation of horizontal direction Hz:

Hz: $0.25 \text{ mgon} \pm 0.05 \text{ mgon}^*)$
($s = 0.8'' \pm 0.17''^*)$)

Temperature 21.0 °C
Measuring sector: 360°

Standard deviation of vertical angle V:

V: $0.24 \text{ mgon} \pm 0.05 \text{ mgon}^*)$
($s = 0.8'' \pm 0.17''^*)$)

Temperature 21.0 °C
Measuring sector: $\pm 126^\circ$ zenith angle

Statement of Compliance: (☐ - mark applicable statement):**Non-compliance - ☐**

The measurement value exceeds
the specification of the product.

Compliance - ☒

The measurement value is within
the specification of the product.

Calibration Procedure:

The reported measuring results are based on single face measurements under laboratory conditions, propagated (under consideration of the influence of telescope and drive properties) to double face measurements under field conditions according to ISO 17123-3 in order to make them comparable to the specifications.

The compliance statement meets the requirements of the statistical test procedure as described in ISO 17123-3.

----- 0 -----

*) reported expanded uncertainty of measurement as stated on first page

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Calibration Certificate SCS

Distance measurement to Reflector:**Product specifications:**

Product specifications

Standard deviation of a single distance measurement according to ISO 17123-3:

$s = 1.0 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ ppm}$

Measuring results:

Measuring results

Standard deviation of a single distance measurement:
according to ISO 17123-4:

$s = 0.22 \text{ mm} \pm 0.08 \text{ mm}^*)$

The determination of the standard deviation is based on distance measurements in all combination on a field base line.

Distances from: 19.5 m to 501.5 m

Temperature range: 15.9 °C to 17.1 °C

Atm. pressure 951 hPa

Used type of reflector GPH1P

Measured deviation:

$\Delta D = 0.0 \text{ mm} \pm 0.26 \text{ mm}^*)$

The deviation is determined on a interferometer controlled test base line as differences between known and measured distances.

Distances from: 2 m to 122 m

Temperature: 21.5 °C

Atm. pressure 961.7 hPa

Used type of reflector GPR1

Relative EDM Frequency deviation (ppm):

at temperature: 18.8 °C

$\Delta f/f = -0.1 \text{ ppm} \pm 0.10 \text{ ppm}^*)$

at temperature: -19.9 °C

$\Delta f/f = -0.1 \text{ ppm} \pm 0.10 \text{ ppm}^*)$

at temperature: 50.1 °C

$\Delta f/f = 0.4 \text{ ppm} \pm 0.10 \text{ ppm}^*)$

Statement of Compliance: (☐ - mark applicable statement):**Non-compliance - ☐**

The measurement value exceeds the specification of the product.

Compliance - ☒

The measurement value is within the specification of the product.

Calibration Procedure:

The standard deviation of a distance measurement is verified in accordance with ISO 17123-4. Measurements are carried out on the base line in the field and on the interferometer controlled test base. The scale factor (ppm) is verified by the frequency difference Δf between the EDM internal design frequency and the measured EDM modulation frequency of the emitted radiation.

----- 0 -----

*) reported expanded uncertainty of measurement as stated on first page

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Measurement Report

Angle Measurement

Product : TC1201+
 Serial no. : 872459
 Inspection date : Februar 25, 2013
 Inspected by : LMART

Temperature : 21.0 °C

Hz - angle:

Standard deviation ISO 17123-3 (n=36): 0.25 mgon

V - angle:

Standard deviation ISO 17123-3 (n=36): 0.24 mgon

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Measurement Report

Distance Measurement to reflector (circular prism)

Distance Measurement to reflector (circular prism)

Product	: TC1201+	Temperature	: 16.6 °C
Serial no.	: 872459	Pressure	: 951 hPa
Inspection date	: März 07, 2013	Humidity	: 33.2 % r.h.
Inspected by	: MET	Target	: GPH1P

- Additive constant valid for standard equipment (prism holder and circular prism)
- Measuring procedure and calculations according ISO 17123-4
- Number of measured distances: 21
- Degree of freedom = 14

	Measured distance [m]	Atm. & geom. corrected distance [m]	Residual [mm]	Adjusted distance [m]	Temperature [°C]	Weight
0-1	19.5	19.5	-0.1	19.5	16.0	1.0
0-2	48.5	48.5	-0.2	48.5	16.0	1.0
0-3	116.5	116.5	-0.1	116.5	16.0	1.0
0-4	284.0	284.0	0.3	284.0	16.3	1.0
0-5	370.0	370.0	0.2	370.0	16.9	1.0
0-6	501.5	501.5	-0.1	501.5	17.1	1.0
1-2	29.0	29.0	-0.1		16.0	1.0
1-3	97.0	97.0	0.0		16.1	1.0
1-4	264.5	264.5	0.3		16.1	1.0
1-5	350.5	350.5	0.0		16.9	1.0
1-6	482.0	482.0	-0.2		17.1	1.0
2-3	68.0	68.0	-0.1		15.9	1.0
2-4	235.5	235.5	0.0		16.4	1.0
2-5	321.5	321.5	-0.1		16.8	1.0
2-6	453.0	453.0	-0.3		17.1	1.0
3-4	167.5	167.5	-0.2		16.9	1.0
3-5	253.5	253.5	0.1		16.6	1.0
3-6	385.0	385.0	0.0		17.1	1.0
4-5	86.0	86.0	0.0		17.1	1.0
4-6	217.5	217.5	0.3		17.1	1.0
5-6	131.5	131.5	0.3		17.0	1.0

Standard deviation of a single measurement m_0	: 0.22 mm
Additive constant AC	: -0.28 mm
Standard deviation of additive constant m_c	: 0.10 mm

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Measurement Report

Distance Measurement to reflector (circular prism)

Distance Linearity

Product : TC1201+
 Serial no. : 872459
 Inspection date : März 05, 2013
 Inspected by : WIEK
 Temperature : 21.5 °C
 Pressure : 961.7 hPa
 Humidity : 18 % r.h.
 Target : GPR1

Additive constant for the Leica Geosystems circular prism GPR1 is set to zero (0mm).

No.	True distance	Measured distance ($\bar{x}$, n=3)	Difference	Distance linearity (measured distance minus true distance)
	[mm]	[mm]	[mm]	
1	2251.7	2251.4	-0.3	
2	3751.9	3752.0	0.1	
3	4501.7	4501.7	0.0	
4	5201.4	5201.3	-0.1	
5	6000.8	6000.8	0.0	
6	6751.0	6751.0	0.0	
7	12001.1	12001.1	0.0	
8	26801.4	26801.1	-0.3	
9	31000.8	31000.9	0.1	
10	48600.6	48600.6	0.0	
11	56251.1	56251.1	0.0	
12	60100.6	60100.9	0.3	
13	63874.5	63874.7	0.2	
14	67724.0	67724.4	0.4	
15	75374.4	75374.6	0.2	
16	92974.2	92974.2	0.0	
17	97173.6	97173.6	0.0	
18	111974.0	111973.9	-0.1	
19	117224.1	117224.0	-0.1	
20	117974.2	117974.2	0.0	
21	118773.7	118773.6	-0.1	
22	119473.4	119473.3	-0.1	
23	120223.2	120223.1	-0.1	
24	121723.4	121723.1	-0.3	

* single measurement
 ◇ mean of three measurements

Distance Linearity : ± 0.4 mm

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Measurement Report

Frequency Measure

Product : TC1201+
 Serial no. : 872459
 Inspection date : Februar 27, 2013
 Inspected by : LMART

	+ 20°C	- 20°C	+ 50°C
Date:	25.02.2013	26.02.2013	27.02.2013
Climate Chamber [°C]:	18.8	-19.9	50.1
Frequency (design) Instrument [Hz]:	100,383,191	100,381,802	100,383,735
Frequency (measured) Counter [Hz]:	100,383,199	100,381,814	100,383,691
Frequency f(d) - f(m) [Hz]:	-8	-12	44
PPM	-0.1	-0.1	0.4

This certificate may not be reproduced other than in full, except with prior written approval of the issuing laboratory.

Figura A-2 Certificado de calibración T28702011 Termohigrómetro emitido por Metroil Perú

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° T-2870-2011
CON VALOR OFICIAL SEGÚN CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N° 191.2011/SNA-INDECOPI

Fecha de Emisión: 2011-12-14

Expediente N°: 23125
Pag 1 de 2

1. Solicitante : QUIMICA SUIZA S.A.
2. Dirección : Av. Republica De Panama N° 2577 Urb. Santa Catalina - La Victoria
3. Instrumento calibrado : TERMOHIGRÓMETRO
 - Marca / Fabricante : No indica
 - Identificación : SATG-T-0001 (*)
 - Serie : No indica
 - Modelo : No indica
 - Alcance Temp. : No indica
 - Resolución : 0,1 °C
 - Alcance H.R. : No indica
 - Resolución : 1 % H.R.
 - Procedencia : No indica

4. Lugar de calibración : Laboratorio de Temperatura y Humedad de METROIL
5. Fecha de calibración : Del 2011-12-12 al 2011-12-13

6. Método de calibración
La calibración se efectuó según PC-MT-002 Rev 05 "Procedimiento de Calibración de Termohigrómetros" de METROIL S.A.C.

7. Trazabilidad
Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los Patrones del SNM-INDECOPI.
Se utilizaron los siguientes instrumentos patrones:
Termohigrómetro IT-130 con Certificado de Calibración N° LT-287-2011 del SNM-INDECOPI.
Termohigrómetro IT-194 con Certificado de Calibración N° LT-212-2011 del SNM-INDECOPI.
Termohigrómetro IT-196 con Certificado de Calibración N° LT-211-2011 del SNM-INDECOPI.
Termómetro IT-185 con Certificado de Calibración N° T-0269-2011 de METROIL S.A.C.
Termómetro IT-186 con Certificado de Calibración N° T-0270-2011 de METROIL S.A.C.

8. Condiciones de calibración

Temperatura ambiental: Inicial: 26,2 °C Final: 28,9 °C
Humedad ambiental : Inicial: 53,7 % H.R. Final: 42,0 % H.R.

(*) Código de Identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.

Los resultados del certificado son válidos solo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

METROIL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de METROIL S.A.C.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de METROIL S.A.C.

Luz M. Valverde Santa María
LUZ M. VALVERDE SANTA MARÍA
Laboratorio de Temperatura y Humedad

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INDECOPI - SNA CON REGISTRO N° LC-001

Certificado de Calibración N° T-2870-2011

Pag. 2 de 2

9. RESULTADOS

PARA EL TERMÓMETRO

INDICACIÓN DEL TERMÓMETRO (°C)	CORRECCIÓN (°C)	TCV (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
15,2	-0,2	15,0	0,4
25,4	-0,4	25,0	0,4
30,3	-0,3	30,0	0,4

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

PARA EL HIGRÓMETRO

INDICACIÓN DEL HIGRÓMETRO (% H.R.)	CORRECCIÓN (% H.R.)	HRCV (% H.R.)	INCERTIDUMBRE (% H.R.)
42	-2,1	39,9	3,1
64	-3,6	60,4	3,1
87	-1,9	85,1	4,3

Humedad Relativa Convencionalmente Verdadera (HRCV) = Indicación del higrómetro + Corrección

10. OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

FIN DEL DOCUMENTO

Correcciones para el Termohigrómetro	Versión: 01
	F-SATG-41	Fecha: 15/10/2012

Ref: Certificado de calibración No. T-2870-2011
 Equipo Termohigrómetro
 Código SATG-T-0001

Equipo (°C)	Corrección (°C)	VCV (°C)	Equipo (°C)	Corrección (°C)	VCV (°C)	Equipo (°C)	Corrección (°C)	VCV (°C)
15.2	-0.2	15.0	21.6	-0.3	21.3	26.3	-0.4	25.9
17.0	-0.2	16.8	21.7	-0.3	21.4	26.4	-0.4	26.0
17.1	-0.2	16.9	21.8	-0.3	21.5	26.5	-0.4	26.1
17.2	-0.2	17.0	21.9	-0.3	21.6	26.6	-0.4	26.2
17.3	-0.2	17.1	22.0	-0.3	21.7	26.7	-0.4	26.3
17.4	-0.2	17.2	22.1	-0.3	21.8	26.8	-0.4	26.4
17.5	-0.2	17.3	22.2	-0.3	21.9	26.9	-0.4	26.5
17.6	-0.2	17.4	22.3	-0.3	22.0	27.0	-0.4	26.6
17.7	-0.2	17.5	22.4	-0.3	22.1	27.1	-0.4	26.7
17.8	-0.3	17.5	22.5	-0.3	22.2	27.2	-0.4	26.8
17.9	-0.3	17.6	22.6	-0.3	22.3	27.3	-0.4	26.9
18.0	-0.3	17.7	22.7	-0.3	22.4	27.4	-0.4	27.0
18.1	-0.3	17.8	22.8	-0.3	22.5	27.5	-0.4	27.1
18.2	-0.3	17.9	22.9	-0.4	22.5	27.6	-0.4	27.2
18.3	-0.3	18.0	23.0	-0.4	22.6	27.7	-0.4	27.3
18.4	-0.3	18.1	23.1	-0.4	22.7	27.8	-0.4	27.4
18.5	-0.3	18.2	23.2	-0.4	22.8	27.9	-0.3	27.6
18.6	-0.3	18.3	23.3	-0.4	22.9	28.0	-0.3	27.7
18.7	-0.3	18.4	23.4	-0.4	23.0	28.1	-0.3	27.8
18.8	-0.3	18.5	23.5	-0.4	23.1	28.2	-0.3	27.9
18.9	-0.3	18.6	23.6	-0.4	23.2	28.3	-0.3	28.0
19.0	-0.3	18.7	23.7	-0.4	23.3	28.4	-0.3	28.1
19.1	-0.3	18.8	23.8	-0.4	23.4	28.5	-0.3	28.2
19.2	-0.3	18.9	23.9	-0.4	23.5	28.6	-0.3	28.3
19.3	-0.3	19.0	24.0	-0.4	23.6	28.7	-0.3	28.4
19.4	-0.3	19.1	24.1	-0.4	23.7	28.8	-0.3	28.5
19.5	-0.3	19.2	24.2	-0.4	23.8	28.9	-0.3	28.6
19.6	-0.3	19.3	24.3	-0.4	23.9	29.0	-0.3	28.7
19.7	-0.3	19.4	24.4	-0.4	24.0	29.1	-0.3	28.8
19.8	-0.3	19.5	24.5	-0.4	24.1	29.2	-0.3	28.9
19.9	-0.3	19.6	24.6	-0.4	24.2	29.3	-0.3	29.0
20.0	-0.3	19.7	24.7	-0.4	24.3	29.4	-0.3	29.1
20.1	-0.3	19.8	24.8	-0.4	24.4	29.5	-0.3	29.2
20.2	-0.3	19.9	24.9	-0.4	24.5	29.6	-0.3	29.3
20.3	-0.3	20.0	25.0	-0.4	24.6	29.7	-0.3	29.4
20.4	-0.3	20.1	25.1	-0.4	24.7	29.8	-0.3	29.5
20.5	-0.3	20.2	25.2	-0.4	24.8	29.9	-0.3	29.6
20.6	-0.3	20.3	25.3	-0.4	24.9	30.0	-0.3	29.7
20.7	-0.3	20.4	25.4	-0.4	25.0	30.1	-0.3	29.8
20.8	-0.3	20.5	25.5	-0.4	25.1	30.2	-0.3	29.9
20.9	-0.3	20.6	25.6	-0.4	25.2	30.3	-0.3	30.0
21.0	-0.3	20.7	25.7	-0.4	25.3			
21.1	-0.3	20.8	25.8	-0.4	25.4			
21.2	-0.3	20.9	25.9	-0.4	25.5			
21.3	-0.3	21.0	26.0	-0.4	25.6			
21.4	-0.3	21.1	26.1	-0.4	25.7			
21.5	-0.3	21.2	26.2	-0.4	25.8			

Equipo Representa la lectura del termohigrómetro

VCV Valor Convencionalmente Verdadero = Indicación del Equipo + Corrección

Figura A-3 Certificado de calibración para Barómetro digital realizado por SNM (Perú)

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual

Certificado de Calibración
LT - 144 - 2012

Servicio Nacional de Metrología
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 4

Expediente	61002	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)
Solicitante	QUIMICA SUIZA S.A.	
Dirección	Av. República de Panamá N° 2577 - La Victoria	El SNM custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la Metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de medida del Perú. (SLUMP).
Instrumento de Medición	BAROTERMOHIGROMETRO	
Alcance de Indicación	0 °C a 55 °C ; 25 % a 95 % ; 795 mbar a 1050 mbar (**)	El SNM es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Inter comparaciones que éste realiza en la región.
División de escala / Resolución	0,5 °C ; 1 % ; 1 mbar	
Marca	TRACEABLE (*)	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.
Modelo	4195 (*)	
Número de Serie	101561758 (*)	
Procedencia	CHINA (*)	
Fecha de Calibración	2012-03-14 al 2012-03-15	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización del Servicio Nacional de Metrología.
Certificados sin firma y sellos carecen de validez.

Fecha	Sub Jefe del Servicio Nacional de Metrología	Responsable del laboratorio
	2012-03-15	HENRY POSTIGO LIXARES	EDWIN FRANCISCO GUILLEN MESTAS

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – Indecopi
Servicio Nacional de Metrología
Calle De La Prosa 194, San Borja Lima – Perú / Telf: 2247800 Anexo 1331 / Fax: Anexo 1264
email: metrologia@indecopi.gob.pe
WEB: www.indecopi.gob.pe

Certificado de Calibración

LT - 144 - 2012

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración por comparación empleando cámaras de humedad, temperatura y presión ambientales con condiciones controladas

Lugar de Calibración

Laboratorio de Temperatura
Calle de la Prosa 104, San Borja - Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura	22 °C ± 1 °C
Humedad Relativa	56 % ± 2 %
Presión	991 mbar ± 1 mbar

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INMETRO BRASIL	Termohigrómetro con incertidumbre del orden de 1,1 %	DIMCI 0447/2011 Marzo 2011
INDECOPI-SNM	Termómetro Digital con incertidumbre del orden de 16 mK	INDECOPI-SNM LT-012-2011 Enero 2011
CENAM de México	Manómetro de Presión Absoluta CLASE 0,07	INDECOPI-SNM LFP-477-2011 Septiembre 2011

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde INDECOPI-SNM

Las temperaturas usadas son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).

(*) Dato grabado en una etiqueta adherida al instrumento de medición.

(*) Dato tomado de su manual.

[Firma]
 Director General
 Servicio Nacional de Metrología
 Calle De La Prosa 104, San Borja Lima - Perú / Telf.: 2247800 Anexo 1331 / Fax: Anexo 1264
 email: metrologia@indecopi.gob.pe
 WEB: www.indecopi.gob.pe

Certificado de Calibración

LT - 144 - 2012

Página 3 de 4

Resultados de Medición

PARA EL TERMOMETRO

INDICACION DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONV. VERDADERA (°C)	CORRECCION (°C)	INCERTIDUMBRE DE MEDICION (°C)
15,0	15,1	0,1	0,45
25,0	25,1	0,1	0,40
30,0	30,1	0,1	0,40

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

PARA EL HIGROMETRO

INDICACION DEL HIGROMETRO (% H.R.)	HUMEDAD RELATIVA CONV. VERDADERA (% H.R.)	CORRECCION (% H.R.)	INCERTIDUMBRE DE MEDICION (% H.R.)
40	37,6	-2,4	1,8
64	59,6	-4,4	1,8
95	95,4	0,4	1,9

La humedad relativa convencionalmente verdadera (HCV) resulta de la relación:
 $HCV = \text{Indicación del higrómetro} + \text{corrección}$

PARA EL BAROMETRO

INDICACION DEL BAROMETRO (mbar)	PRESION CONV. VERDADERA (mbar)	CORRECCION (mbar)	INCERTIDUMBRE DE MEDICION (mbar)
1015	1011,0	-4,0	0,6
1000	995,9	-4,1	0,6
985	980,2	-4,8	0,6

La presión convencionalmente verdadera (PCV) resulta de la relación:
 $PCV = \text{Indicación del higrómetro} + \text{corrección}$

Nota .- El tiempo mínimo de estabilización fue de 30 minutos .

Laboratorio de Temperatura

Certificado de Calibración

LT - 144 - 2012

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

SERVICIO NACIONAL DE METROLOGIA - SNM

El Servicio Nacional de Metrología (SNM) fue creado el 6 de Enero de 1983 mediante la Ley N° 23560 y ha sido encomendado al INDECOPÍ - mediante el Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El SNM cuenta con Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con los requisitos de las Normas ISO 9001 e ISO/IEC 17025 con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio.

El SNM cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. El Servicio Nacional de Metrología - Indecopi es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Inter comparaciones realizadas

Figura A-4 Correções a ser realizadas no barotermohigrômetro antes de ser introduzidas na estação total

Correcciones para el Barotermohigrómetro	Version: 01
	F-SATG-039	Fecha: 15/10/2012

Ref: Certificado de calibración No. LT-144-20121
 Equipo Barotermohigrómetro
 Serie 101561758

Patrón (mbar)	Equipo (mbar)	Corrección (mbar)	Valor Convencionalmente Verdadero (mbar)
980.2	985	-4.8	980.2
—	986	-4.8	981.2
—	987	-4.7	982.3
—	988	-4.7	983.3
—	989	-4.6	984.4
—	990	-4.6	985.4
—	991	-4.5	986.5
—	992	-4.5	987.5
—	993	-4.4	988.6
—	994	-4.4	989.6
—	995	-4.3	990.7
—	996	-4.3	991.7
—	997	-4.2	992.8
—	998	-4.2	993.8
—	999	-4.1	994.9
995.9	1000	-4.1	995.9
—	1001	-4.1	996.9
—	1002	-4.1	997.9
—	1003	-4.1	998.9
—	1004	-4.1	999.9
—	1005	-4.1	1000.9
—	1006	-4.1	1001.9
—	1007	-4.1	1002.9
—	1008	-4.0	1004.0
—	1009	-4.0	1005.0
—	1010	-4.0	1006.0
—	1011	-4.0	1007.0
—	1012	-4.0	1008.0
—	1013	-4.0	1009.0
—	1014	-4.0	1010.0
1011.0	1015	-4.0	1011.0

Patrón Representa la lectura del equipo patrón que se usó para la calibración del Barotermohigrómetro

Equipo Representa la lectura del Barotermohigrómetro

Valor Convencionalmente Verdadero = Indicación del Equipo + Corrección

ANEXO B

No Anexo B está apresentado um certificado de calibração emitido pela empresa Química Suíza, usando o Método Compacto. Estão apresentados os resultados e os dados coletados para a realização do procedimento.

Figura B-1 Certificado de Calibración emitido pela empresa Química Suiza.

SERVICIO Y ATENCIÓN TÉCNICA EN CALIBRACIONES

Certificado de Calibración

Número de Certificado **G0019 2014**
 Número de Guía **7165**
 Solicitante **UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO**
 Objeto de Calibración **ESTACION TOTAL**
 Marca **LEICA GEOSYSTEMS**
 Modelo **TS02 POWER 5"**
 Serie **1330572**
 Procedencia **SUIZA**
 Identificación **NO INDICA**
 Precisión (Ángulo) **5" (1,5 mgon) (*)**
 Precisión (Distancia IR) **1,5 mm + 2 ppm (*)**
 Precisión (Distancia RL) **2 mm + 2 ppm (*)**
 Fecha de Calibración **2014-03-11**

Procedimiento de Calibración

Se tomó como referencia las normas ISO 17123 "Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 3: Theodolites; Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments)" y el Procedimiento "Procedure M" de LEICA GEOSYSTEMS

Lugar de Calibración LABORATORIO DE GEOMÁTICA (SATG) - QUÍMICA SUIZA INDUSTRIAL DEL PERÚ S.A.
Av. República de Panamá N° 2577 - La Victoria

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26,0 °C	28,0 °C
Presión Atmosférica	985,4 mbar	986,5 mbar

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Fecha de Emisión

2014-03-12

Coordinador Técnico

 José Suárez Pino

QUÍMICA SUIZA INDUSTRIAL DEL PERÚ SA

El contenido de este certificado sólo puede publicarse o reproducirse de forma completa
 Química Suiza Industrial del Perú SA - Servicio y Atención Técnica en Calibraciones
 Telf.: 710-4000 Anexo 2541
 e-mail: satcalibracion@qsiindustrial.biz

Página 1 de 3

F-SATC-02
v.01

SERVICIO Y ATENCIÓN TÉCNICA EN CALIBRACIONES

G0019 2014

Certificado de Calibración

Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales e internacionales que materializan las unidades físicas de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de LEICA	Estación Total	ACL_CC13_872459

Observaciones

Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

(*) datos obtenidos del manual de instrucciones

Resultados**ÁNGULOS****Ensayo de Ángulos Horizontales**

$$s(HZ) = 1,14 \text{ mgon} \pm 0,16 \text{ mgon}$$

$$\text{equivalente a } s(HZ) = 3,7'' \pm 0,51''$$

Ensayo de Ángulos Verticales

$$s(V) = 0,23 \text{ mgon} \pm 0,03 \text{ mgon}$$

$$\text{equivalente a } s(V) = 0,7'' \pm 0,09''$$

Nota 1 :

$$\text{Desviación estándar} = s \pm U$$

donde :

s(Hz)	Desviación estándar de ángulos horizontales
s(V)	Desviación estándar de ángulos verticales
s	Desviación estándar promedio
U	Incertidumbre Expandida

QUÍMICA SUIZA INDUSTRIAL DEL PERÚ SA

El contenido de este certificado sólo puede publicarse o reproducirse de forma completa
 Química Suiza Industrial del Perú SA - Servicio y Atención Técnica en Calibraciones
 Telf.: 710-4000 Anexo 2541
 e-mail: satcalibracion@qsiindustrial.biz

Página 2 de 3

F-SATC-02
v.01

Certificado de Calibración

DISTANCIA

Ensayo IR Prism

$$\Delta D_{\max} = 0,9 \text{ mm} \pm 1,2 \text{ mm}$$

AddC=	0,27 mm
mAddC=	0,59 mm
mDist=	0,80 mm

Ensayo IR Tape

$$\Delta D_{\max} = 0,4 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$$

AddC=	0,17 mm
mAddC=	0,30 mm
mDist=	0,51 mm

Ensayo RL

$$\Delta D_{\max} = 0,9 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$$

AddC=	-0,17 mm
mAddC=	0,63 mm
mDist=	0,76 mm

Nota 2 :

$$\text{Desviación} = \Delta D_{\max} \pm U$$

IR Prism	Modo de mediciones de distancias con prismas.
IR Tape	Modo de mediciones de distancia con dianas reflectantes.
RL	Modo de mediciones de distancias sin prismas.
AddC	Constante aditiva (Linealidad de Distancia)
mAddC	Desviación Estándar de Constante aditiva.
mDist	Desviación estándar de las distancias a todos los objetivos.
$\Delta D_{\max}$	Máxima desviación promediada encontrada respecto a un patrón durante el ensayo de distancia en modo establecido.
U	Incertidumbre Expandida

QUÍMICA SUIZA INDUSTRIAL DEL PERÚ SA

El contenido de este certificado sólo puede publicarse o reproducirse de forma completa
 Química Suiza Industrial del Perú SA - Servicio y Atención Técnica en Calibraciones
 Telf.: 710-4000 Anexo 2541
 e-mail: satca@calibracion@qsiindustrial.biz

Certificate verification

Product : TS02 POWER 5"
Article No : 765274
Serial No : 1330572
Inspection date : Tuesday, 11 March 2014
Ordered by : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU
Order number : 7165
Customer : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU

Specifications :

a) Angle Measurement
Standard deviation (ISO 17123-3) 1.5[mGon] mGon

Test Results

a) Angle Measurement	
Standard Deviation Hz:	1,29 mGon
Standard Deviation V:	0,20 mGon

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.

The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited to ISO 9001 by an independent national accredited body.

Tuesday, 11 March 2014

César Augusto Chuna T.
Jefe Servicio Técnico

José Luis Borda Leon
Técnico Responsable

Combined Hz-V angle measurement

11.03.2014 / 40258 /

Product: TS02 POWER 5"

Articel No: 765274

Temp. Pressure: 28,3 _ 986,5

Serial No: 1330572

Inspection date: Tuesday, 11 March 2014

Inspected by: José Luis Borda Leon

Ordered by: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU

Order No: 7165

Customer: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU

Standard deviation (s): 1.5[mGon]

Hz Measurement:							
	Hz face 1 [gon]	Hz face 2 [gon]	Hz Coll [gon]	Hz Mean [gon]	Reduced Mean [gon]	Mean of all [gon]	v [mGon]

Values of Set 1							
01	375.8580	175.8592	-0.0006	375.8586	100.1183	100.1182	0.33000
02	52.0087	252.0119	-0.0016	52.0103	143.8680	143.8682	-0.10333
03	173.9624	373.9642	-0.0009	173.9633	100.0760	100.0762	0.74667
04	230.5939	30.5928	0.0005	230.5934	65.9848	65.9849	-0.57000
05	331.8254	131.8236	0.0009	331.8245	77.9612	77.9613	-0.40333

Values of Set 2							
06	242.5339	42.5352	-0.0007	242.5346	100.1182	100.1182	-1.59000
07	318.6806	118.6843	-0.0018	318.6825	143.8682	143.8682	1.77667
08	40.6378	240.6404	-0.0013	40.6391	100.0764	100.0762	-1.02333
09	97.2669	297.2665	0.0002	97.2667	65.9848	65.9849	0.11000
10	198.4970	398.4978	-0.0004	198.4974	77.9615	77.9613	0.72667

Values of Set 3							
11	109.2004	309.2018	-0.0007	109.2011	100.1181	100.1182	1.26000
12	185.3536	385.3570	-0.0017	185.3553	143.8684	143.8682	-1.67333
13	307.3066	107.3078	-0.0006	307.3072	100.0763	100.0762	0.27667
14	363.9362	163.9353	0.0004	363.9358	65.9853	65.9849	0.46000
15	65.1670	265.1687	-0.0008	65.1679	77.9612	77.9613	-0.32333

Result Hz: 1.29 [mGon]							

V Measurement:							
	V face 1 [gon]	V face 2 [gon]	V I Index [gon]	Z I+(P+II)/2 [gon]	Mean of all [gon]	v [mGon]	

Values of Set 1							
01	100.1188	299.8823	0.0005	100.1183	100.1182	-0.08333	
02	143.8683	256.1324	0.0004	143.8680	143.8682	0.21667	
03	100.0764	299.9244	0.0004	100.0760	100.0762	0.21667	
04	65.9850	334.0155	0.0002	65.9848	65.9849	0.16667	
05	77.9616	322.0392	0.0004	77.9612	77.9613	0.08333	

Values of Set 2							
06	100.1188	299.8824	0.0006	100.1182	100.1182	-0.03333	
07	143.8685	256.1321	0.0003	143.8682	143.8682	-0.03333	
08	100.0770	299.9243	0.0007	100.0764	100.0762	-0.13333	
09	65.9848	334.0153	0.0001	65.9848	65.9849	0.16667	
10	77.9618	322.0388	0.0003	77.9615	77.9613	-0.21667	

Values of Set 3							
11	100.1184	299.8823	0.0003	100.1181	100.1182	0.11667	
12	143.8687	256.1320	0.0003	143.8684	143.8682	-0.18333	
13	100.0768	299.9242	0.0005	100.0763	100.0762	-0.08333	
14	65.9856	334.0151	0.0004	65.9853	65.9849	-0.33333	
15	77.9619	322.0396	0.0008	77.9612	77.9613	0.13333	

TS02 POWER 5": 1330572 Tuesday, 11 March 2014

Certificate verification

Product : TS02 POWER 5
Article No : 765274
Serial No : 1330572
Inspection date : Tuesday, 11 March 2014
Ordered by : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU
Order number : 7165
Customer : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU

Specifications :

- a) Angle Measurement
Standard deviation (ISO 17123-3) 1.5[mGon] mGon

Test Results

a) Angle Measurement	
Standard Deviation Hz:	1,17 mGon
Standard Deviation V:	0,22 mGon

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.

The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited to ISO 9001 by an independent national accredited body.

Wednesday, 12 March 2014

César Augusto Chuna T.
Jefe Servicio Técnico

José Luis Borda Leon
Técnico Responsable

Combined Hz-V angle measurement	12.03.2014 / 40258 /
Product: TS02 POWER 5	
Article No: 765274	
Temp, Pressure: 26,5 _ 985,4	
Serial No: 1330572	
Inspection date: Tuesday, 11 March 2014	
Inspected by: José Luis Borda Leon	
Ordered by: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU	
Order No: 7165	
Customer: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU	
Standard deviation (s): 1.5[mGom]	

Hz Measurement:

	Hz face 1 [gon]	Hz face 2 [gon]	Hz Coll [gon]	Hz Mean [gon]	Reduced Mean [gon]	Mean of all [gon]	v [mGom]
Values of Set 1							
01	375.8580	175.8582	-0.0001	375.8581	100.1144	100.1146	-0.07333
02	52.0075	252.0096	-0.0011	52.0086	143.8679	143.8681	0.61000
03	173.9621	373.9633	-0.0006	173.9627	100.0760	100.0762	1.02667
04	230.5964	30.5945	0.0009	230.5955	65.9891	65.9893	-0.65667
05	331.8242	131.8242	0.0000	331.8242	77.9584	77.9586	-0.90667
Values of Set 2							
06	242.5322	42.5332	-0.0005	242.5327	100.1147	100.1146	-0.60333
07	318.6806	118.6833	-0.0013	318.6820	143.8681	143.8681	1.28000
08	40.6387	240.6392	-0.0002	40.6390	100.0762	100.0762	-1.15333
09	97.2687	297.2684	0.0002	97.2686	65.9893	65.9893	0.31333
10	198.4971	398.4973	-0.0001	198.4972	77.9586	77.9586	0.16333
Values of Set 3							
11	109.2005	309.2033	-0.0014	109.2019	100.1147	100.1146	0.67667
12	185.3553	385.3559	-0.0003	185.3556	143.8684	143.8681	-1.89000
13	307.3081	107.3082	0.0000	307.3082	100.0765	100.0762	0.12667
14	363.9382	163.9398	-0.0008	363.9390	65.9895	65.9893	0.34333
15	65.1671	265.1671	0.0000	65.1671	77.9588	77.9586	0.74333

Result Hz: 1.17 [mGom]

V Measurement:

	V face 1 [gon]	V face 2 [gon]	V I Index [gon]	Z I+ (P+II) / 2 [gon]	Mean of all [gon]	v [mGom]
Values of Set 1						
01	100.1146	299.8858	0.0002	100.1144	100.1146	0.20000
02	143.8682	256.1324	0.0003	143.8679	143.8681	0.23333
03	100.0764	299.9244	0.0004	100.0760	100.0762	0.23333
04	65.9892	334.0111	0.0001	65.9891	65.9893	0.20000
05	77.9589	322.0421	0.0005	77.9584	77.9586	0.20000
Values of Set 2						
06	100.1147	299.8853	0.0000	100.1147	100.1146	-0.10000
07	143.8686	256.1324	0.0005	143.8681	143.8681	0.03333
08	100.0767	299.9243	0.0005	100.0762	100.0762	0.03333
09	65.9892	334.0107	-0.0001	65.9893	65.9893	0.00000
10	77.9589	322.0417	0.0003	77.9586	77.9586	0.00000
Values of Set 3						
11	100.1149	299.8855	0.0002	100.1147	100.1146	-0.10000
12	143.8685	256.1317	0.0001	143.8684	143.8681	-0.26667
13	100.0770	299.9240	0.0005	100.0765	100.0762	-0.26667
14	65.9893	334.0104	-0.0001	65.9895	65.9893	-0.20000
15	77.9591	322.0415	0.0003	77.9588	77.9586	-0.20000

Result V: 0.22 [mGom]

TS02 POWER 5: 1330572 Tuesday, 11 March 2014

Certificate verification

Product : TS02 POWER 5
Article No : 765274
Serial No : 1330572
Inspection date : Tuesday, 11 March 2014
Ordered by : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU
Order number : 7165
Customer : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU

Specifications :

a) Angle Measurement
Standard deviation (ISO 17123-3) 1.5[mGom] mGon

Test Results

a) Angle Measurement	
Standard Deviation Hz:	0,97 mGon
Standard Deviation V:	0,25 mGon

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.

The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited to ISO 9001 by an independent national accredited body.

Wednesday, 12 March 2014

César Augusto Chuna T.
Jefe Servicio Técnico

José Luis Borda Leon
Técnico Responsable

Combined Hz-V angle measurement

12.03.2014 / 40258 /

Product: TS02 POWER 5

Articel No: 765274

Temp. Pressure: 28 _ 985,4

Serial No: 1330572

Inspection date: Tuesday, 11 March 2014

Inspected by: José Luis Borda Leon

Ordered by: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU

Order No: 7165

Customer: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU

Standard deviation (s): 1.5[mGon]

Hz Measurement:

	Hz face 1 [gon]	Hz face 2 [gon]	Hz Coll [gon]	Hz Mean [gon]	Reduced Mean [gon]	Mean of all [gon]	v [mGon]
Values of Set 1							
01	109.2000	309.2007	-0.0003	109.2004	100.1164	100.1161	0.44000
02	185.3524	385.3548	-0.0012	185.3536	143.8688	143.8688	-1.97667
03	307.3047	107.3062	-0.0007	307.3055	100.0774	100.0773	0.39000
04	363.9378	163.9375	0.0001	363.9377	65.9911	65.9913	0.44000
05	65.1645	265.1656	-0.0005	65.1651	77.9597	77.9597	0.70667
Values of Set 2							
06	242.5335	42.5349	-0.0007	242.5342	100.1161	100.1161	-0.43000
07	318.6817	118.6855	-0.0019	318.6836	143.8688	143.8688	1.00333
08	40.6386	240.6395	-0.0005	40.6391	100.0773	100.0773	-0.23000
09	97.2711	297.2713	-0.0001	97.2712	65.9911	65.9913	-0.13000
10	198.4981	398.4998	-0.0008	198.4990	77.9596	77.9597	-0.21333
Values of Set 3							
11	375.8606	175.8606	0.0000	375.8606	100.1158	100.1161	-0.01000
12	52.0088	252.0121	-0.0016	52.0105	143.8688	143.8688	0.97333
13	173.9658	373.9658	0.0000	173.9658	100.0772	100.0773	-0.16000
14	230.5987	30.5977	0.0005	230.5982	65.9919	65.9913	-0.31000
15	331.8265	131.8256	0.0005	331.8261	77.9599	77.9597	-0.49333

Result Hz: 0.97 [mGon]

V Measurement:

	V face 1 [gon]	V face 2 [gon]	V I Index [gon]	Z I+(P+II)/2 [gon]	Mean of all [gon]	v [mGon]
Values of Set 1						
01	100.1169	299.8842	0.0006	100.1164	100.1161	-0.30000
02	143.8691	256.1315	0.0003	143.8688	143.8688	0.00000
03	100.0775	299.9228	0.0001	100.0774	100.0773	-0.10000
04	65.9915	334.0094	0.0005	65.9911	65.9913	0.28333
05	77.9600	322.0407	0.0003	77.9597	77.9597	0.03333
Values of Set 2						
06	100.1165	299.8844	0.0005	100.1161	100.1161	0.00000
07	143.8694	256.1318	0.0006	143.8688	143.8688	0.00000
08	100.0776	299.9231	0.0003	100.0773	100.0773	0.00000
09	65.9915	334.0093	0.0004	65.9911	65.9913	0.23333
10	77.9599	322.0408	0.0003	77.9596	77.9597	0.13333
Values of Set 3						
11	100.1159	299.8844	0.0002	100.1158	100.1161	0.30000
12	143.8693	256.1317	0.0005	143.8688	143.8688	0.00000
13	100.0770	299.9227	-0.0001	100.0772	100.0773	0.10000
14	65.9916	334.0079	-0.0002	65.9919	65.9913	-0.51667
15	77.9599	322.0402	0.0001	77.9599	77.9597	-0.16667

Result V: 0.25 [mGon]

TS02 POWER 5: 1330572 Tuesday, 11 March 2014

Certificate verification

Product : TS02 POWER 5"
Article No : 765274
Serial No : 1330572
Inspection date : Tuesday, 11 March 2014
Ordered by : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU
Order number : 7165
Customer : UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO
LIMA
PERU

Specifications :

- a) Distance Measurement to reflector (IR)
Distance standard deviation of a single measurement (ISO 17123-4) 1.5mm + 2ppm
- b) Distance Measurement without reflector (RL)
Distance standard deviation of a single measurement 2mm + 2ppm

Test Results

a) Distance Measurement to reflector (IR):	
Distance standard deviation (IR prism):	0,80mm
Distance standard deviation (IR tape):	0,51mm
Additive constant (IR prism):	0,27mm
Additive constant (IR tape):	0,17mm
b) Distance Measurement without reflector (RL)	
Distance standard deviation (RL):	0,76mm
Additive constant (RL):	-0,17mm

Certificate

We hereby certify that the product described has been tested and complies with the specifications and test results as stated above.

The test equipment used is traceable to national standards or to recognized procedures. This is established by our Quality Management System, audited to ISO 9001 by an independent national accredited body.

Tuesday, 11 March 2014

César Augusto Chuna T.
Jefe Servicio Tecnico

José Luis Borda Leon
Tecnico Responsable

Distance accuracy with known distances	11.03.2014 / 40258 /
Product: TS02 POWER 5" Article No: 765274 Temp, Pressure: 26 _ 985,4 Serial No: 1330572 Inspection date: Tuesday, 11 March 2014 Inspected by: José Luis Borda Leon Ordered by: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU Order No: 7165 Customer: UNIDAD EJECUTORA 007: MARCAHUAMACHUCO / LIMA / PERU Standard deviation (s): 1.5mm + 2ppm	

	IR Prism [m]	Diff [mm]	IR Tape [m]	Diff [mm]	RL [m]	Diff [mm]

Nominal Values						
1	12.31380		10.26860		10.26860	
2	46.65340		31.99080		31.99080	
3	97.96990		46.53400		46.53400	

Values of Set 1						
1/1	12.31425	0.45	10.26901	0.41	10.26831	-0.29
1/2	46.65326	-0.14	31.99036	-0.44	31.99146	0.66
1/3	97.96912	-0.78	46.53356	-0.44	46.53406	0.06
2/3	97.96892	-0.98	46.53366	-0.34	46.53406	0.06
2/2	46.65306	-0.34	31.99036	-0.44	31.99156	0.76
2/1	12.31425	0.45	10.26851	-0.09	10.26801	-0.59

Values of Set 2						
1/1	12.31415	0.35	10.26881	0.21	10.26831	-0.29
1/2	46.65326	-0.14	31.99046	-0.34	31.99166	0.86
1/3	97.96902	-0.88	46.53356	-0.44	46.53316	-0.84
2/3	97.96902	-0.88	46.53356	-0.44	46.53366	-0.34
2/2	46.65316	-0.24	31.99066	-0.14	31.99166	0.86
2/1	12.31385	0.05	10.26831	-0.29	10.26831	-0.29

Values of Set 3						
1/1	12.31425	0.45	10.26931	0.71	10.26821	-0.39
1/2	46.65326	-0.14	31.99066	-0.14	31.99176	0.96
1/3	97.96902	-0.88	46.53366	-0.34	46.53446	0.46
2/3	97.96902	-0.88	46.53366	-0.34	46.53476	0.76
2/2	46.65306	-0.34	31.99056	-0.24	31.99186	1.06
2/1	12.31385	0.05	10.26871	0.11	10.26821	-0.39

	AddC [mm]	mAddC [mm]	mDist [mm]			
IR Prism:	0.27	0.59	0.80			
IR Tape :	0.17	0.30	0.51			
RL :	-0.17	0.63	0.76			