

IGHM - Montréal 1996

Premières expériences avec des thermomètres Sea-Bird First experiences with Sea-Bird Sensors

Par / by

G. Buffet, Ing. ETS

Research and Development Laboratory

HYDRO VEVEY LTD

Rue des Deux-Gares 6, P.O. Box 368, CH-1800 VEVEY / Switzerland

Phone : (021) 925 77 00, Direct : (021) 925 78 61, Fax : (021) 925 77 03

Résumé

Suite à la modernisation effectuée en 1994, sur l'appareillage utilisé par HYDRO VEVEY pour les mesures de rendement par la méthode thermodynamique, nous présentons ici les options prises et les caractéristiques principales des appareils intégrés à notre instrumentation. Nous mentionnons également quelques perspectives de développement complémentaires. Finalement, nous relevons les meilleures possibilités de pratiquer la méthode thermodynamique dans des conditions d'essais limites (par exemple, évolution du gradient de température à l'entrée de la machine).

Summary

Further to the modernization of the Hydro Vevey instrumentation for efficiency tests according to the thermodynamic method realized in 1994, the chosen options and the main characteristics of the various instruments are presented hereafter.

Some additional development prospects are also mentioned. Finally, the better opportunities of practicing the thermodynamic method under unfavourable test conditions (for instance, evolution of the temperature gradient at the machine inlet) are quoted.

1. Introduction

Jusqu'en 1994, l'appareillage utilisé par HYDRO VEVEY pour les mesures de rendement par la méthode thermodynamique des turbo-machines était composé d'un pont thermométrique de marque Telec couplé à un galvanomètre Sefram. Les capteurs de température utilisés, étaient des sondes au platine de résistance $100\ \Omega$.

Une sonde était introduite dans le doigt de gant du capteur d'énergie installé dans la section haute pression et la sonde aval était déplacée dans différentes positions pour réaliser une prospection des températures dans cette section de mesure, sauf dans les cas où la section basse pression, inaccessible, exigeait un soutirage.

A quelques exceptions près, c'était le mode opératoire par détente partielle qui était mis en oeuvre avec cet équipement.

La pression statique dans la section de mesurage haute pression et la pression dans l'organe de détente étaient mesurées à l'aide d'un manomètre à piston rotatif.

Les appareils mentionnés ci-dessus devenant obsolètes, nous avons donc décidé de moderniser notre équipement de mesure et cette publication présente l'état actuel de notre matériel d'essai et de quelques perspectives d'amélioration.

2. Schéma d'installation

De manière à illustrer schématiquement l'instrumentation mise en place actuellement, les annexes 1 et 2 présentent 2 installations mesurées récemment. Dans les deux cas ce sont des turbines Francis à axe vertical. La section de mesure basse pression du premier exemple est accessible par la rainure à batardeau. La section basse pression du deuxième exemple est en pression et non accessible directement.

Avec ce nouvel équipement, c'est le mode opératoire direct qui est appliqué.

3. Appareillage de mesure

3.1 Températures

Inspiré d'une étude réalisée chez HYDRO-QUEBEC et présentée par M. J.-M. Lévesque lors de la 13ème réunion du GPMT à Salamanca en 1986, notre choix s'est porté sur des thermomètres océanographiques SBE de la firme SEA-BIRD ELECTRONICS, INC.

Les thermomètres choisis sont de type SBE-3-01/S. Les caractéristiques principales de ces instruments sont données par l'annexe 3.

3.1.1 Section haute pression

En fonction des dimensions de la section haute pression, un ou plusieurs capteurs d'énergie sont installés dans la section de mesure et sur chacun d'eux, un thermomètre est fixé de manière à ce que son élément sensible soit directement placé dans le flux du débit soutiré. Les annexes 4 et 5 renseignent sur les capteurs d'énergie utilisés.

1. Introduction

Until 1994, the instrumentation used by Hydro Vevey for efficiency tests of hydro-machines was composed of a Telec differential bridge connected to a Sefram galvanometer. Platinum resistance temperature sensors (100Ω at 0°C) were used for temperature measurements.

One sensor was installed in the thermowell of the upstream measuring vessel. The downstream sensor was moved in various locations in order to record the temperature distribution within the low pressure measuring section except where this section was inaccessible requiring thus the installation of a sampling device.

With a few exceptions, the tests performed using this equipment were run according to the partial expansion operating procedure.

The static pressure in the high pressure measuring section and the pressure in the measuring vessel after the expansion valve were measured with a dead weight manometer.

The above instruments becoming obsolete, we have then decided to modernize our measuring equipment. This paper presents the actual development state of our test equipment and some improvement prospects.

2. Installation Sketch

In order to give an outline of the now used instrumentation, Enclosures 1 and 2 present two recently tested power plants. In both power plants, there are Francis turbines with vertical shaft. The low pressure measuring section of the first example is at atmospheric pressure and accessible through the tailrace gate groove. The low pressure measuring section of the second example is at a pressure higher than atmospheric pressure and therefore not directly accessible. The direct operating procedure is adopted with this new equipment.

3. Instrumentation

3.1 Temperatures

Inspired by a study of Hydro-Québec presented by Mr. J.-M. Levesque at the 13th GPMT Meeting of Salamanca in 1986, our choice fell on SBE oceanographic thermometers from Sea-Bird Electronics Inc.

The selected thermometers are of type SBE 3-01/S. The main characteristics of these instruments are given in Enclosure 3.

3.1.1 High Pressure Section

One or several sampling devices are used depending on the size of the high pressure section. A thermometer is installed in each sampling device so that its sensing element is directly placed in the sampling water flow. A photograph and drawing of a sampling device are shown in Enclosure 4 and 5 respectively.

3.1.2 Low Pressure Section

In the example of the turbine with an accessible downstream reference section (See Enclosure 1), 2 thermometers were installed inside each of the 3 tubes with holes, mounted in an upright position at the outlet of the draft tube (see photograph of Enclosure 6).

3.1.2 Section basse pression

Dans l'exemple de la turbine avec une section de référence aval accessible (annexe 1), 2 thermomètres ont été mis en place à l'intérieur de chacun des 3 tubes perforés placés verticalement directement à la sortie de l'aspirateur (photo de l'annexe 6).

Le cas proposé par l'annexe 2, présente une turbine Francis avec une section de référence aval en pression. Les 8 thermomètres (4 par pertuis) ont été fixés directement dans la section de mesure le long de câbles métalliques installés dans le prolongement de tubes embétonnés permettant la sortie des câbles au travers de presse-étoupes (photos de l'annexe 7).

3.1.3 Etalonnage des thermomètres

Nous utilisons les étalonnages effectuées par le fournisseur des thermomètres et les différences relevées entre des vérifications réalisées avant et après une campagne d'essais ont toujours été inférieures à 0.001°C .

3.2 Pressions

La pression statique à l'entrée de la turbine et la pression dans le capteur d'énergie amont sont mesurées à l'aide de capteurs relatif de marque ROSEMOUNT de type 3051 CG.

Si l'aval de la turbine est en pression et que la section de mesure est équipée de prises statiques, la pression est mesurée avec un capteur différentiel de marque ROSEMOUNT de type 3051 CD dont l'une des branches est connectée sur un niveau de référence. Les pressions différentielles aux prises Winter-Kennedy sont mesurées avec le même type de capteur.

Le principe de fonctionnement des capteurs de type 3051 CG et 3051 CD est donné par l'annexe 8.

La classe de précision de ces 2 types de capteurs est annoncée à 0.1%. Cependant, les étalonnages effectués par le fournisseur après chaque réglage de l'échelle de mesure ont donné des résultats ne dépassant pas une imprécision de 0.05%. De plus leur stabilité dans le temps est très bonne puisque pour le même calage d'échelle, les étalonnages successifs montrent des différences d'incertitude inférieures à 0.01%.

3.3 Niveaux libres

La mesure des niveaux libres est effectuée soit directement avec un décamètre depuis un niveau de référence ou avec un capteur de mesure de niveau immergé dans un tube faisant office de puits statique au droit de la section de mesure basse pression. Les capteurs utilisés dans ces cas-là sont de marque DRUCK de type PTX 164 (voir les spécifications à l'annexe 9).

3.4 Puissance

La puissance électrique est mesurée avec un instrument de marque NORMA de type D5255 (AC-Power Analyser). Cet appareil de classe 0.1 est connecté sur les circuits de mesure de l'installation.

3.5 Système d'acquisition

L'annexe 10 donne un schéma synoptique du système d'acquisition.

Les signaux à mesurer sont soit des fréquences pour les thermomètres ou des tensions pour les capteurs de pression et les paramètres annexes comme par exemple la course du servo-moteur

du distributeur. Tous ces signaux sont connectés à un Switch/Control Unit HP 3488A lui-même relié à un Universal Counter HP 5334A et à un Digital Multimeter HP 34401A. L'ensemble de ce système est piloté via une interface IEEE 488 par une station HEWLETT-PACKARD de type HP 300.

Les valeurs mesurées sont traitées et converties en grandeurs physiques par cette station HP 300. Ensuite elles sont introduites dans un PC portable avec lequel le post-traitement des résultats est effectué à partir d'EXCELL.

4. Améliorations futures

4.1 Contrôle des thermomètres

Même si l'étalonnage des thermomètres est réalisé par le fournisseur dans des délais et à des coûts intéressants, un contrôle de fonctionnement doit pouvoir être fait sur le site. Actuellement ce contrôle est réalisé dans une petite enceinte isolée en comparant l'un après l'autre les thermomètres utilisés avec un instrument de même type conservé comme référence. Pour rendre ce contrôle plus efficace, nous devons adapter une enceinte isolée plus grande de manière à tester plusieurs thermomètres simultanément et améliorer le système d'homogénéisation du bain de contrôle.

4.2 Système d'acquisition

La station HP 300 utilisée actuellement n'est malheureusement pas compatible avec l'environnement PC. Le remplacement de cette unité par un deuxième PC portable configuré de manière à pouvoir gérer le système d'acquisition nous permettrait en connectant les deux ordinateurs en réseau de récupérer directement les fichiers des grandeurs mesurées avec celui utilisé pour le post-traitement des résultats.

5. Conclusions

La possibilité d'instrumenter les sections de mesure avec le nombre de thermomètres requis pour une bonne appréciation de la répartition des températures est très avantageuse combinée avec la mesure simultanée des températures et des pressions (pressions définissant l'énergie hydraulique et celles définissant l'énergie mécanique) donne une meilleure fiabilité aux résultats.

Un autre avantage dû à la simultanéité des acquisitions est la diminution des temps de mesure. Celà permet en cas d'instabilité de la température à l'entrée de la machine, de valider des mesures pendant les courtes périodes où le gradient se situe dans des limites acceptables.

pressure higher than atmospheric pressure. Eight thermometers (4 in each channel) were fixed directly at metallic ropes installed from the tubings embedded in concrete which allow the passage of the cables through compression fittings (see photographs of Enclosure 7).

3.1.3 Calibration of Thermometers

The calibration data provided by the thermometer supplier are used. The recorded differences between calibrations performed before and after a test serie were always less than 0.001 °C.

3.2 Pressures

The static pressure at the turbine inlet and the pressure in the upstream measuring vessel are measured with Rosemount model 3051CG gage pressure transmitters.

If the turbine downstream side is at a pressure higher than atmospheric pressure and if the measuring section is equipped with pressure taps, the pressure is measured with a Rosemount model 3051CD differential pressure transmitter. In this case one pressure transmitter side is connected to a reference level. The differential pressures at the Winter-Kennedy taps are measured with the same transmitter type.

The main characteristics of model 3051CD and CG transmitters are given in Enclosures 8 and 9.

According to the specifications from the supplier, these transmitters are accurate within $\pm 0.1\%$. However, the various calibrations performed by the supplier after each adjustment of the measuring range gave results better than 0.05 %. Additionally their longterm stability is very good since, for the same range adjustment, the recorded differences between successive calibrations were less than 0.01 %.

3.3 Free Levels

The measurement of free levels is performed either directly with a staff gauge from a reference level or with a level transmitter immersed in a tube acting as a static well at the low pressure measuring section. In this case, the instruments are PTX-164 transmitters from Druck Ltd. (see specifications in Enclosure 10)

3.4 Power Output

The power output is measured with a Norma model D5255 Power analyser. This precision instrument (0.1 %) is connected to the electrical measuring circuits of the power plant.

3.5 Data Acquisition System

Enclosure 11 shows a synoptic diagram of the data acquisition system. The outputs are either frequencies (thermometers) or voltages (pressure transmitters and subsidiary measurements as for instance the wicket gate servomotor stroke). All these signals are connected via a HP 3488A switch/control unit to a HP 5334A universal counter and HP 34401A digital multimeter. The whole system is controlled via a IEEE-488 interface by a Hewlett-Packard 9000 serie 300 computer.

The measured signals are processed and converted to physical data by the HP 9000 serie 300 computer. Then they are transferred to a portable PC for post-treatment of the results from EXCEL

4. Future Improvements

4.1 Thermometer Check

Even if the thermometer calibration is realised by the supplier within an attractive time period and costs, an on-site operating check must be possible. Now, this check is realised in a small isolated water bath by comparing each thermometer, one after the other, with an instrument of the same type as a reference. In order to make this check more effective, a larger isolated bath have to be manufactured so that several thermometers will be tested simultaneously. Furthermore the homogenization of the control bath has to be improved.

4.2 Data Acquisition System

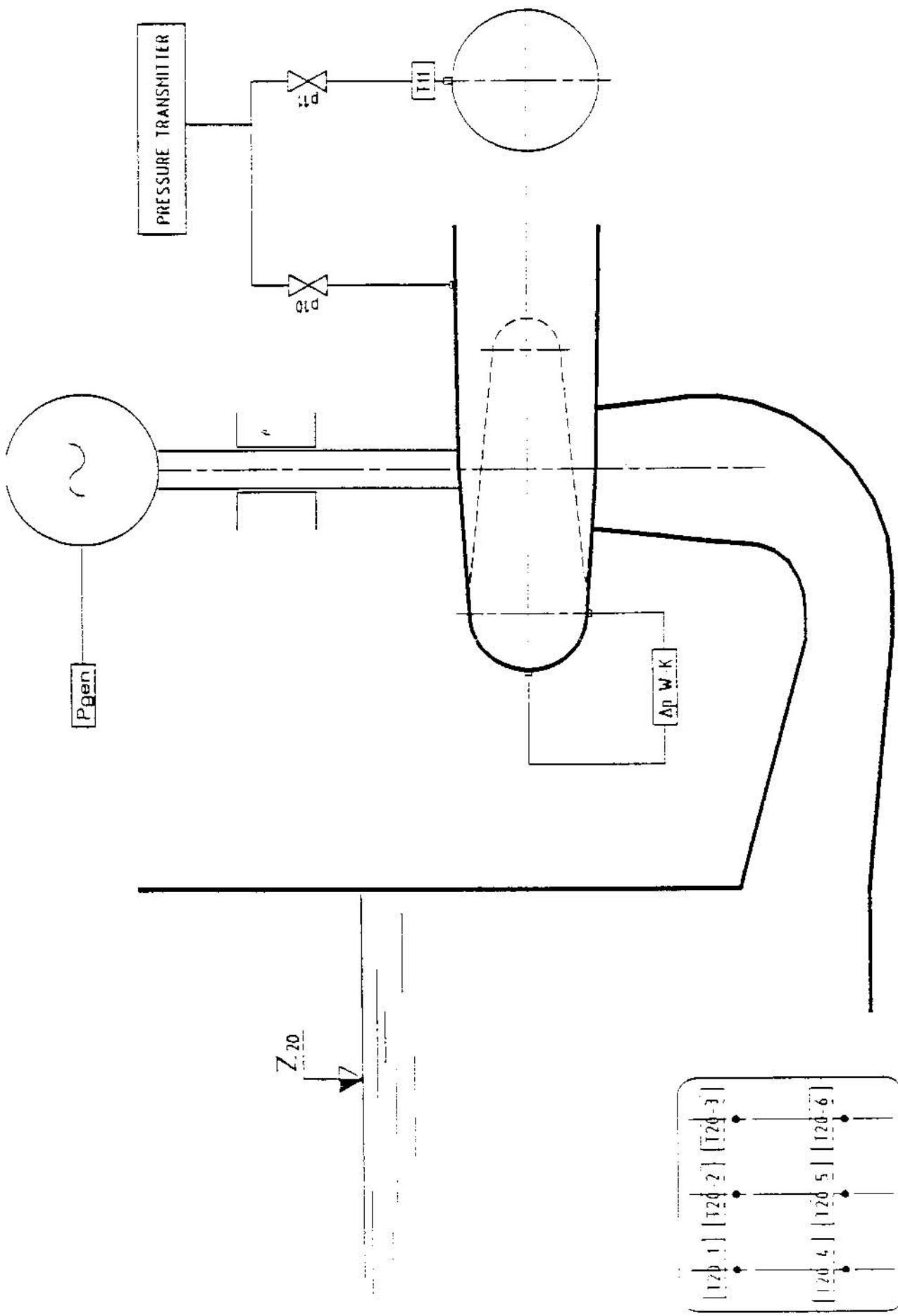
The HP 9000 serie 300 computer used now is unfortunately not compatible with a PC environment. The replacement of this unit by a second portable PC designed for the control of the data acquisition system would allow to access directly the data files with the second post-treatment PC, providing they would be operated in a networking environment.

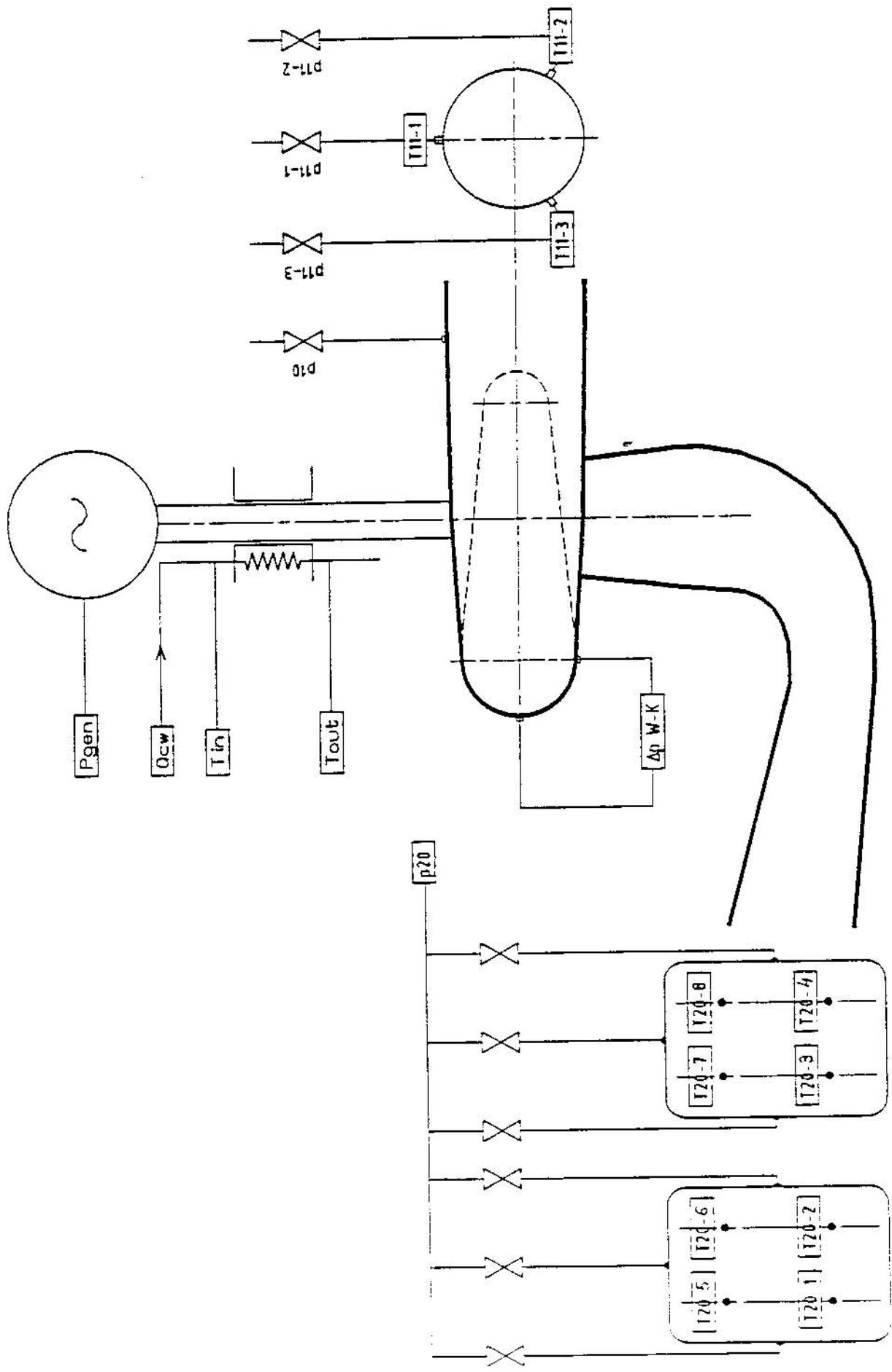
5. Conclusions

The possibility of installing the required number of instruments for an accurate estimation of the temperature distribution in the measuring sections is very profitable. Furthermore, the simultaneous measurement of pressures and temperatures gives more reliable results.

Another advantage due to the simultaneity of the data acquisition is the reduction of the testing time. This allow, in case of an unstable temperature at the machine inlet, to consider measurements taken during periods where the temperature gradient has varied within acceptable limits.

Enclosure 1





OCEANOGRAPHIC THERMOMETER SBE 3

DESCRIPTION

The SBE 3 thermometer is modular and self-contained permitting easy installation, service, and calibration. Two choices of sensor response time (fast or slow) and three depth ratings are offered to suit different application requirements. Model SBE 3 /F provides a "fast" response time of 70 milliseconds and SBE 3 /S has a "slow" response time of 580 milliseconds. The standard aluminum housing is rated to 3,400 meters. Optional aluminum or titanium housings provide 6,800 or 10,500 meter capability. The power/signal cable and CTD mounting hardware are available separately.

The SBE 3 has a proven record of reliability and accuracy with 17 years of field use and calibrations by Northwest Regional Calibration Center (an independent U.S. government contractor). The SBE 3 is a primary sensor for Sea-Bird's SBE 9 CTD Underwater Unit and SBE 25 Sealogger CTD and is also well suited to many custom instrumentation applications.

APPLICATION

Because of the SBE 3's low noise characteristics, hybrid frequency measuring techniques (used in Sea-Bird's CTD instruments) may be used to obtain rapid sampling with very high resolution. A published article [1] describes how a resolution of $40 \mu^{\circ}\text{C}$ per bit may be obtained at a 6 Hz sampling rate.

The SBE 3 is an ideal oceanographic tool for obtaining horizontal data with towed systems or vertical data with lowered systems. Its small size makes it especially useful for portable CTD systems and underwater vehicles. Having also found applications in many laboratories, the SBE 3 is beginning to be applied to industrial and environmental temperature monitoring applications, like hydro-turbine inlet and outlet temperature or effluent discharge temperature monitoring.

SPECIFICATIONS¹

Measurement Range: -5.0 to +35 °C.

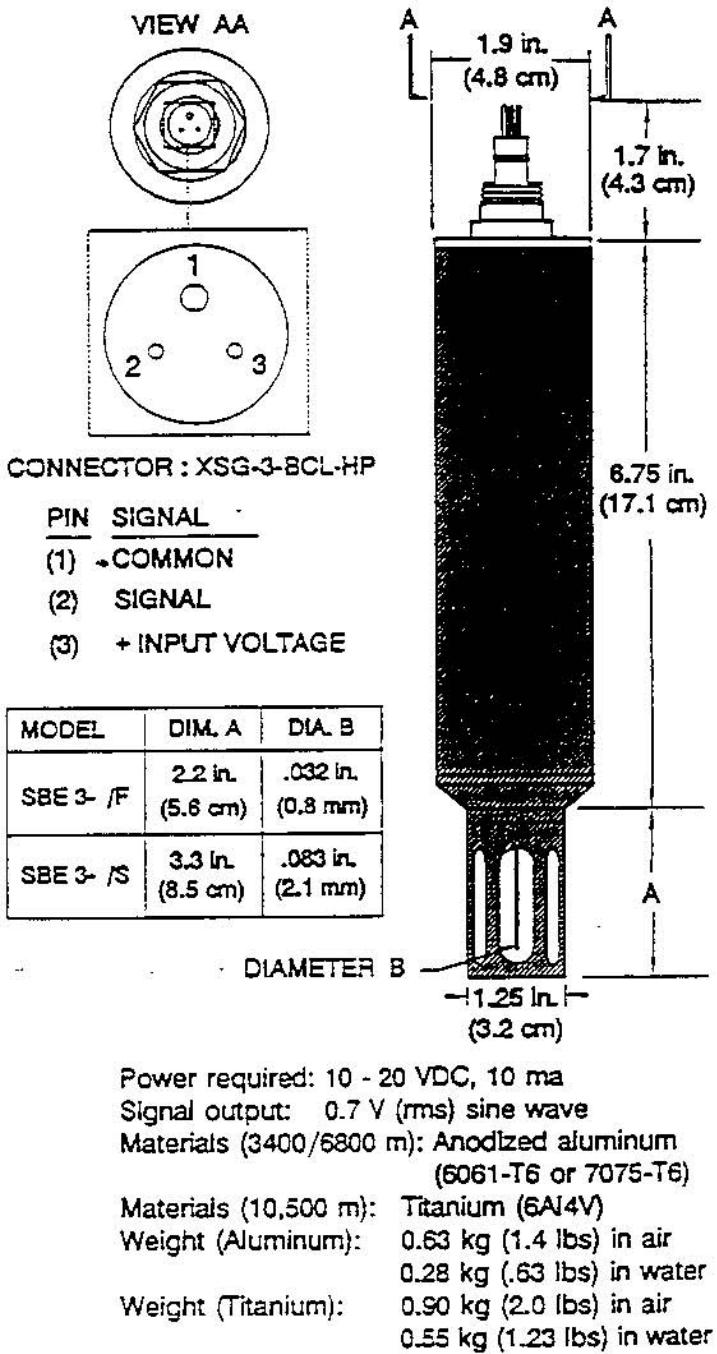
Accuracy/Stability: $\pm 0.004 ^{\circ}\text{C}$ per year (typical)
 $\pm 0.01 ^{\circ}\text{C}$ per 6 months (guaranteed)

Resolution:² 0.0003 °C. @ 24 samples per second

¹ Typical specifications, referenced to NBS-traceable calibration, and applying over the entire oceanographic range.

² Achieved with Sea-Bird's SBE 9 CTD. In custom applications, resolution will depend on the frequency measuring technique used.

³ Time to reach 63% of final value following a step change in temperature.



Response Time ³ (Fast):	0.072 sec. (1.0 m/s water velocity)
	0.084 sec. (0.5 m/s water velocity)
Response Time ³ (Slow):	0.580 sec. (1.0 m/s water velocity)
	0.690 sec. (0.5 m/s water velocity)
Self-heating Error:	<0.0001 °C in still water (only 7×10^{-8} °C is dissipated in the thermistor)
Warm-up Time:	<2.0 seconds to within 0.005 °C of final value

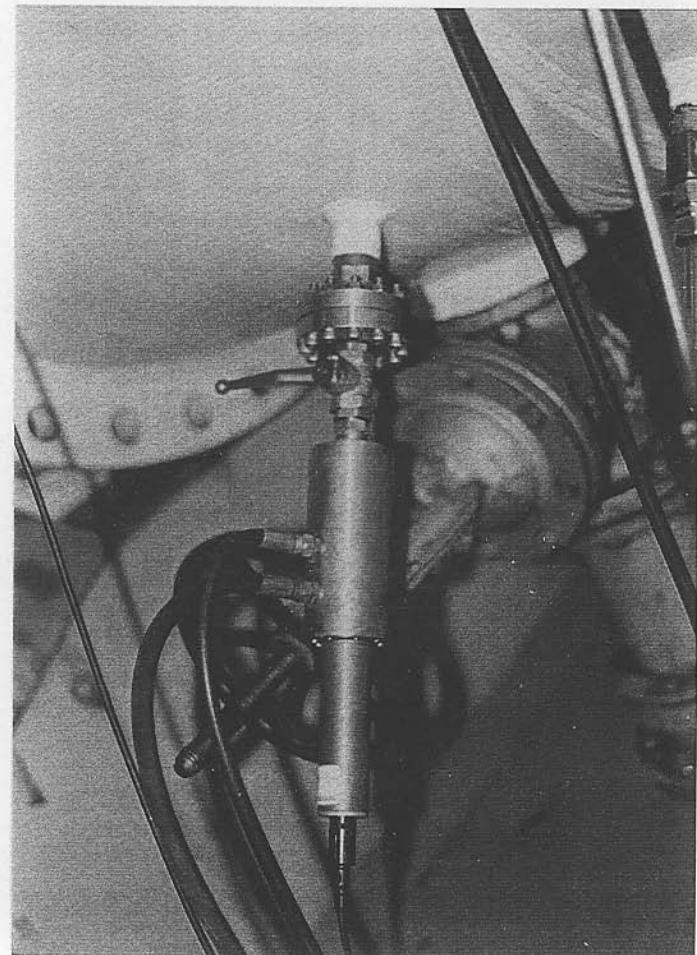


SEA - BIRD ELECTRONICS, INC.

1808 15th Place NE, Bellevue, WA, 98005 USA. Tel: 425/255-5881 FAX: (425) 643-9955

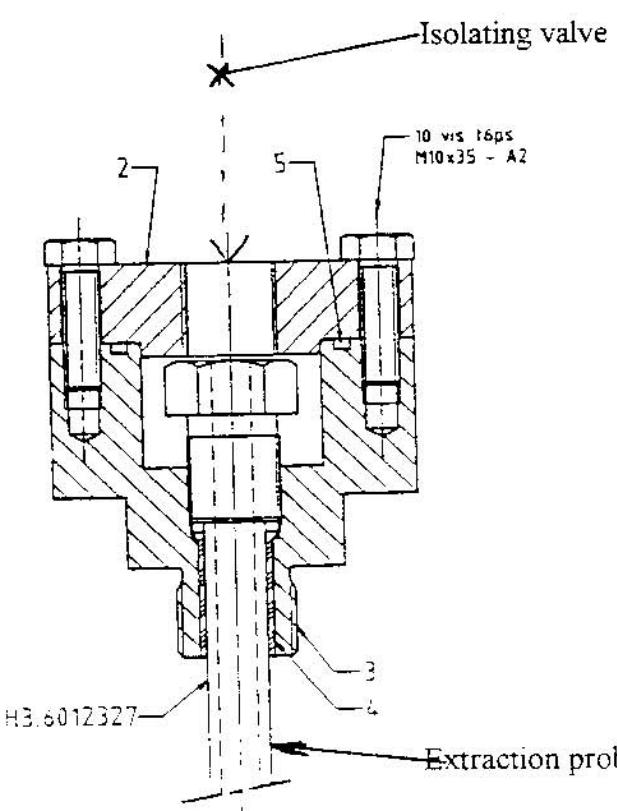
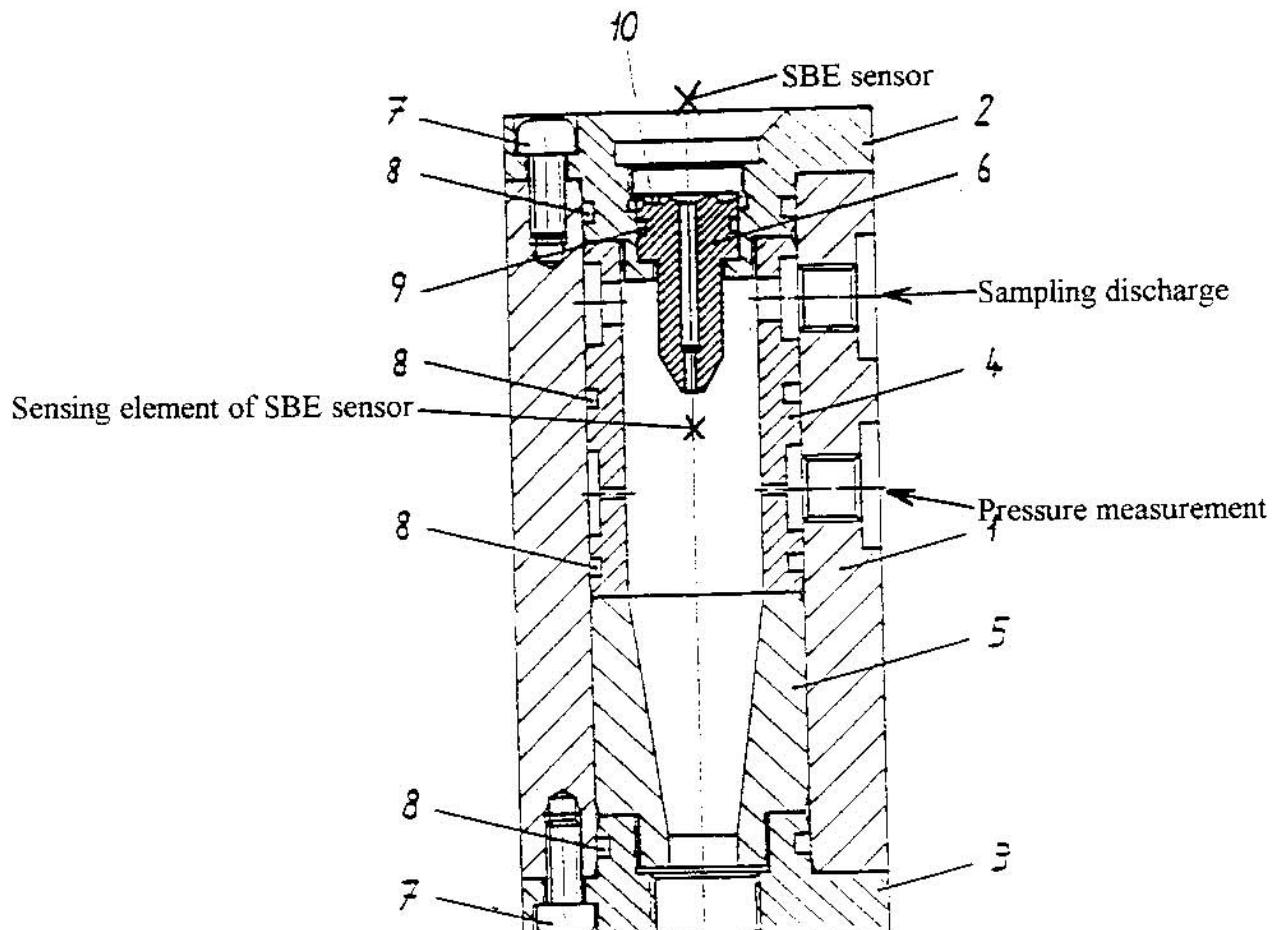
Telephone (206) 643-986

Enclosure 4

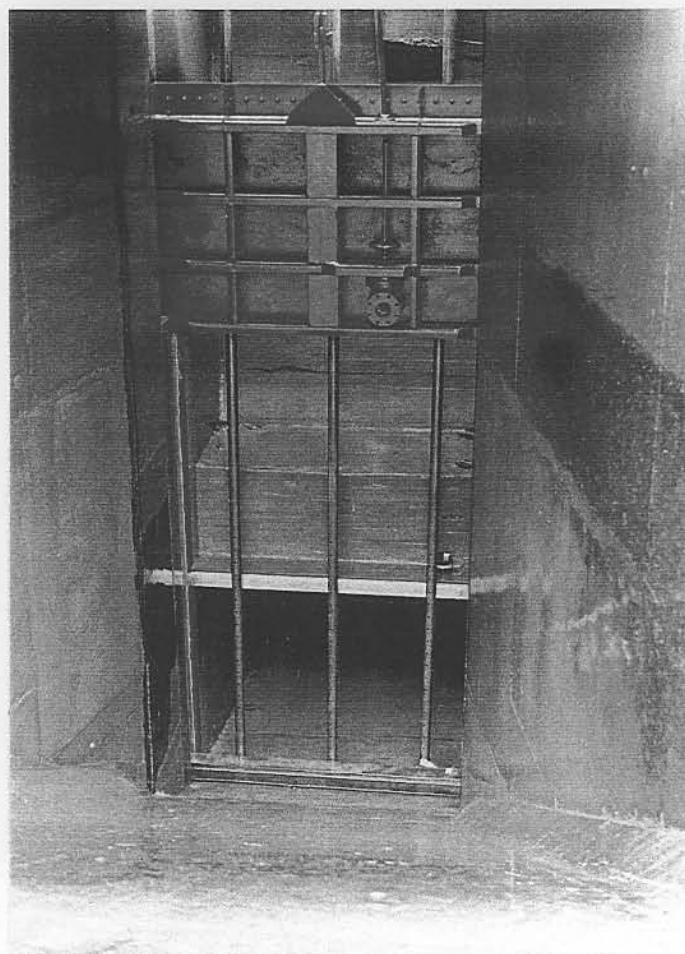


Sampling device with SBE sensor

Enclosure 5



Enclosure 6

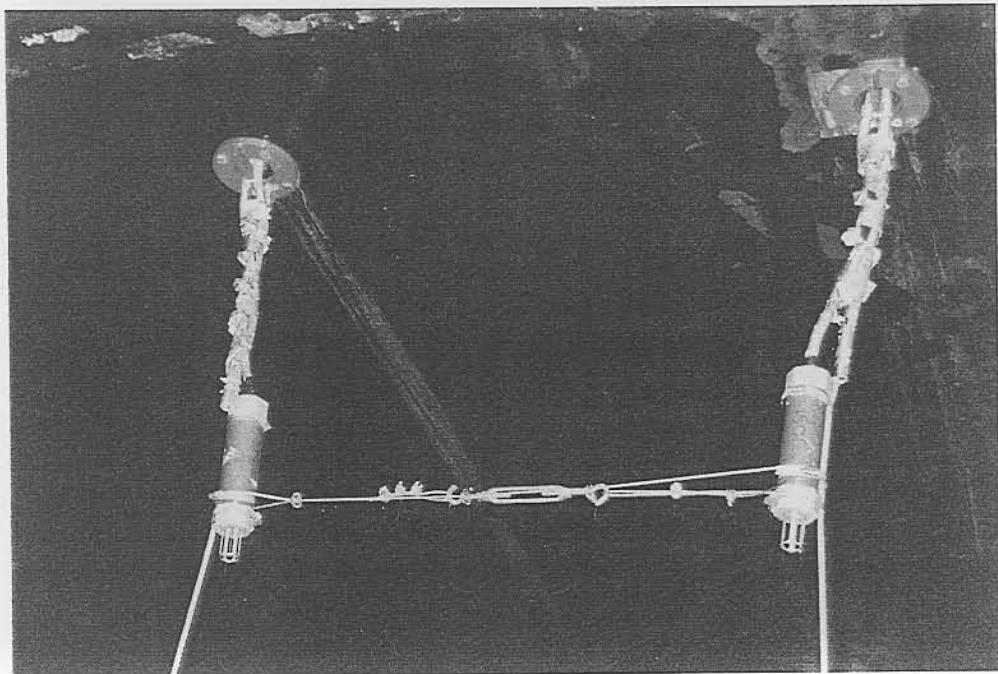


Low pressure section

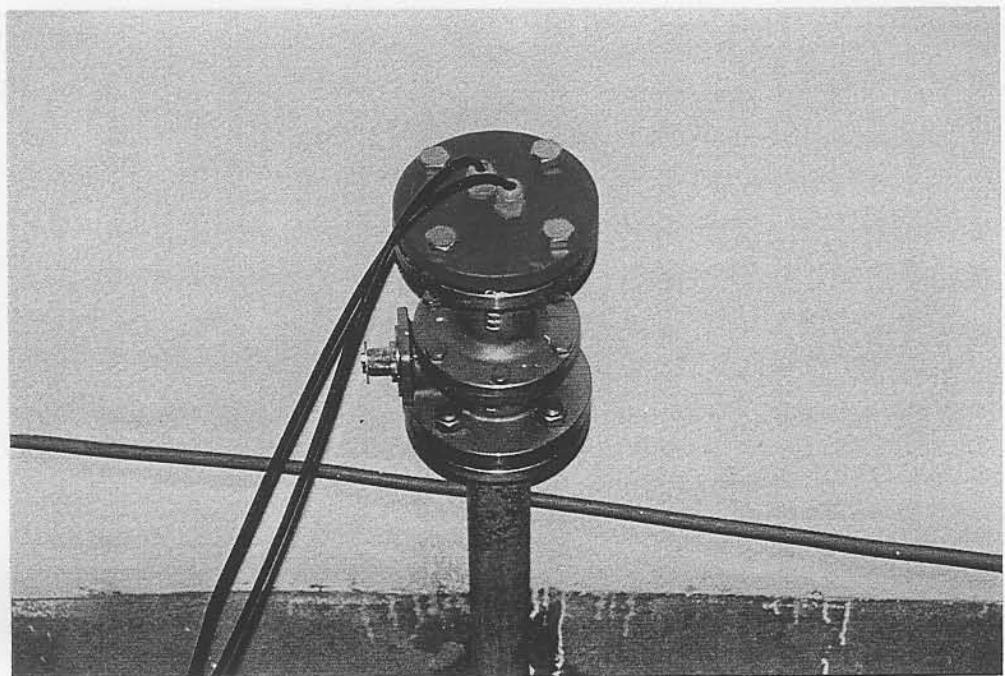
Example of the turbine with an accessible downstream reference section

Low pressure section

Example with a downstream reference section at a pressure higher than atmospheric pressure



Sensors installed directly in the flow

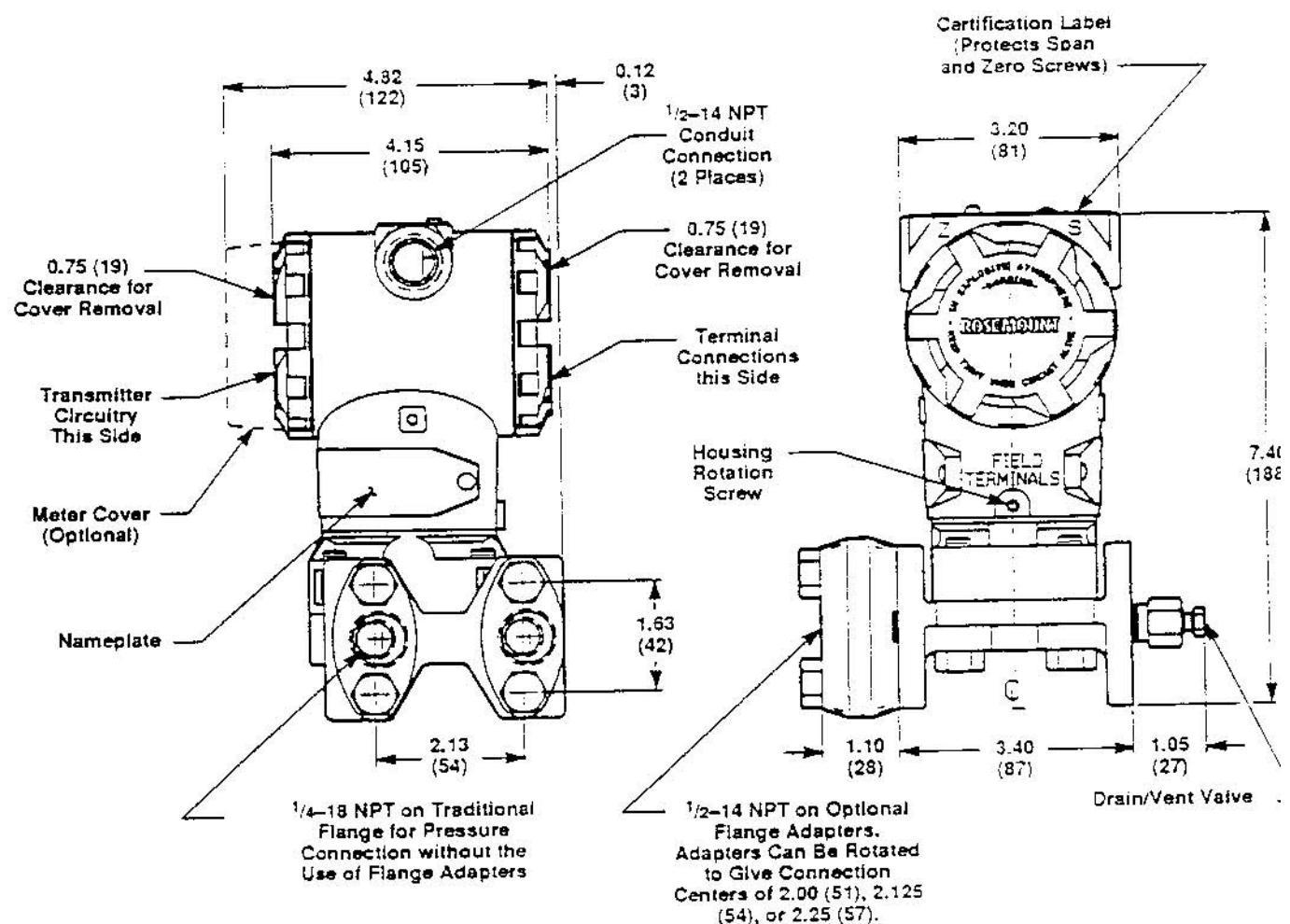


Passage of the cables through compression fittings

Enclosure 8

Rosemount Model 3051C

FIGURE 5-7. Traditional flange dimensional drawing.



NOTE
Dimensions are in inches (millimeters).

Section 10 Theory of operation

The Model 3051C Pressure Transmitter is a microprocessor-based instrument. As such, it operates differently from conventional analog transmitters. This section describes the operation of the Model 3051C in simple terms.

Model 3051C differential and gage pressure transmitters

Process pressure is transmitted through the isolating diaphragm and fill fluid to the sensing diaphragm in the center of the capacitance sensor, as illustrated in Figure 10-1. Any difference in pressure on the isolating diaphragms causes a change in the position of the sensing diaphragm. Capacitor plates on both sides of the sensing diaphragm detect the position of the sensing diaphragm.

The differential capacitance between the sensing diaphragm and the capacitor plates is measured electronically and converted to a digital format. While the pressure signal is in this format, the microprocessor corrects it based on stored characterization values. The corrected digital signal, in engineering units, is available for readout and transmission to suitable digital interface devices.

This digital representation is then converted to a 4–20 mA output signal dependent upon transmitter configuration, and is available for use with conventional instrumentation. Figure 10-2 shows a block diagram of Model 3051C differential and gage pressure operation.

FIGURE 10-1. Capacitance sensor module.

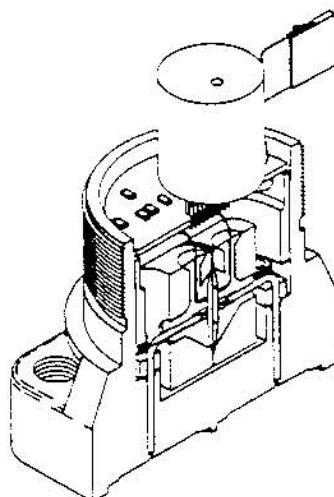
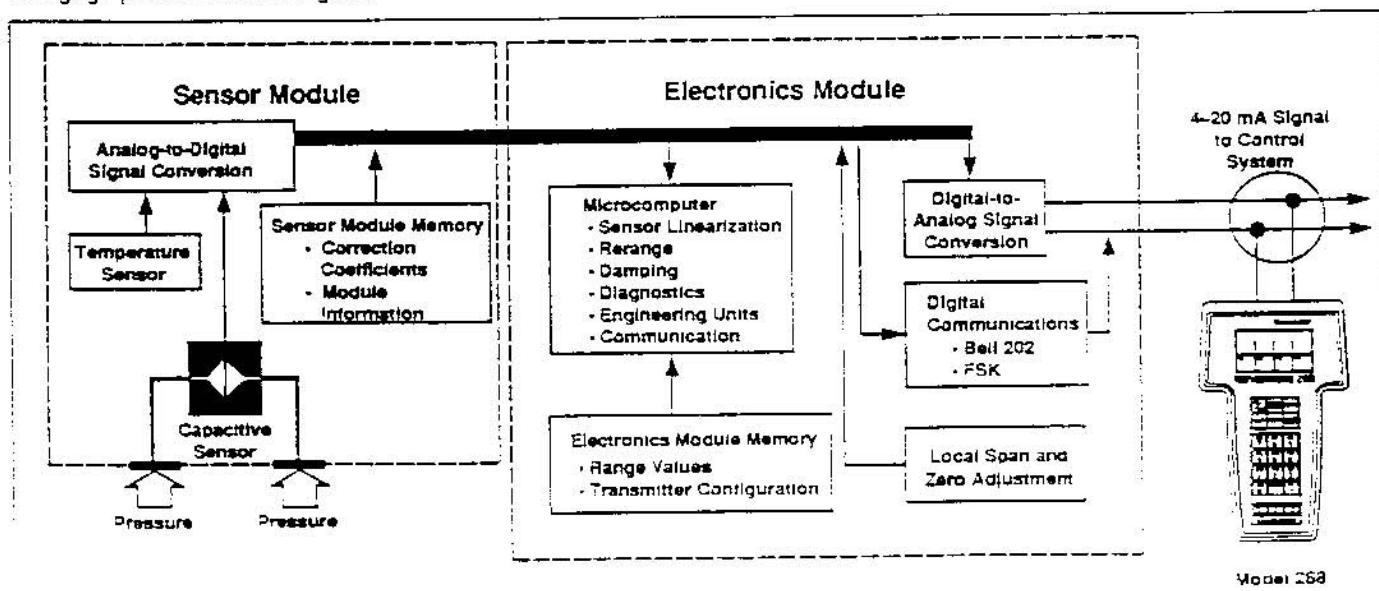


FIGURE 10-2. Model 3051C differential and gage pressure block diagram.



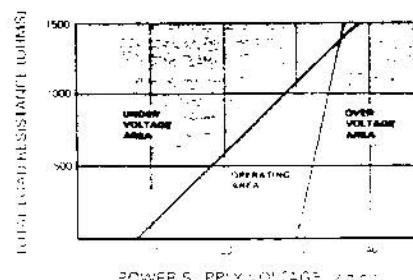
DEPTH AND LEVEL: Specification

	mV OUTPUT TRANSDUCERS			4-20mA OUTPUT TRANSMITTERS			
TYPE	PDCR 35/D	PDCR 830/831*	PDCR 930/931	PDCR 940	PTX 164		
FEATURES	10mm diameter Delivery from core stock	General purpose	Media isolated	Media isolated; all titanium construction recommended for sea water applications	General purpose 500V surge protection		
Standard Specification Operating pressure range (1)	700mbar, 1, 1.5, 3.5, 5, 7, 15, 20 and 35 bar gauge	70, 175, 350, 700mbar, 1, 2, 3.5, 5, 7, 10, 15, 20, 35, and 60 bar gauge or absolute	250, 700mbar, 1, 1.5, 2, 3.5, 5, 7, 10, 15, 20, 35 and 60 bar gauge or absolute	70, 175, 350, 700mbar, 1, 1.5, 2, 3.5, 5, 7, 10, 15, 20, 35, and 60 bar gauge or absolute	Units set-up during manufacture to any full scale range between:- 70mbar and 60 bar gauge or absolute 70mbar and 60 bar gauge		
Overpressure	The rated pressure can be exceeded by 10x for 70mbar and 175mbar range, 6x for 350mbar range, 4x for 700mbar range and above causing negligible calibration change.						
Pressure media fluids compatible with:	Silicon, titanium, glass and epoxy	Stainless steel 316 and Hastelloy	Titanium	Silicon, titanium, glass and epoxy			
Excitation Voltage	10 Volts (2) (3)	10 Volts (2)	10 Volts (2)	9-30V d.c.	9-30V d.c. (3)		
Nominal output at stated excitation voltage	100mV 17mV for 70mbar range 25mV for 175mbar range 50mV for 350mbar range 100mV for 700mbar range and above	50mV for 350mbar range 100mV for 700mbar range and above	20mV for 70mbar range 50mV for 175 and 350mbar ranges 100mV for 700mbar range	4mA at zero pressure to 20mA at maximum pressure			
Accuracy:- Combined non-linearity and hysteresis	$\pm 0.1\%$ F.S. (B.S.L.) (4)						
Operating temperature range	-20° to +80°C						
Compensated temperature range	-2° to -30°C PDCR 830: -2° to -30°C PDCR 831: -20° to -80°C	PDCR 930/940: -2° to +30°C PDCR 931: -20° to +80°C	-2° to +30°C				
Temperature effects (total error band: % F.S.)	$\pm 0.5\%$ $\pm 0.6\%$; 70mbar $\pm 0.3\%$; 175mbar and above PDCR 831: $\pm 1.5\%$; 350mbar range and above	PDCR 830: $\pm 1\%$ PDCR 930/940: 350mbar and above $\pm 0.3\%$ PDCR 931: $\pm 1.5\%$	$\pm 0.3\%$		$\pm 0.3\%$; 70mbar range $\pm 0.3\%$; 175mbar range and above (5)		
Current consumption (max)	5mA at 10V d.c.						
Load impedance	Greater than 100Kohms for quoted performance						
Resolution	Continuous						
Zero offset and span setting	$\pm 5mV$ zero offset $\pm 3mV$ span setting	$\pm 3mV$ zero and span setting (7)	$\pm 0.25\%$ F.S.		$\pm 0.5\%$ F.S.		
Weight in air	70gms	100gms	120gms	100gms	132gms		
Current limit of nominally 26mA during overload conditions							

Key to table above

- (1) Other units can be specified, e.g. psi, mH₂O.
- (2) Reduced excitation voltage will give proportionally reduced output and improve long term stability.
- (3) With conductive media use a floating power supply or earth the most positive terminal.
- (4) $\pm 0.06\%$ B.S.L. available up to 20 bar range.
- (5) -20 to +80°C available giving $\pm 1.5\%$ total error band for ranges over 700mbar gauge and above.

(6) Pressure transmitter load operating line



(7) More accurate settings available

- * Intrinsically safe versions available on request. Certified for use with barrier systems to EEx ia gas group IIC with a T4 rating at an ambient of 90°C to BS5501 Part 7 and Cenelec EN50 020.

Specify: PDCR 83X/S
PTX 160/D/S

SCHEMA OF ACQUISITION SYSTEM

